

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL**



**La Teledetección como herramienta de análisis en la dinámica
fluvial y su influencia en la gestión ambiental: caso río Tumbes –
Tumbes 2025**

TESIS

**Para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con
mención en Gestión Ambiental**

Autor: Br. Henry Fernando More Medrano

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL



**La Teledetección como herramienta de análisis en la dinámica
fluvial y su influencia en la gestión ambiental: caso río Tumbes –
Tumbes 2025**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Napoleón Puño Lecarnaqué (Presidente)
ORCID: 0000-0002-5008-8085

Dr. Eber Gines Tafur (Secretario)
ORCID: 0000-0003-0366-4438

Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Vocal)
ORCID: 0000-0003-0841-3064

Tumbes, 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL



**La Teledetección como herramienta de análisis en la dinámica
fluvial y su influencia en la gestión ambiental: caso río Tumbes –
Tumbes 2025**

**Los suscritos declaramos que la de tesis es original en su
contenido y forma.**

Br. More Medrano Henry Fernando (autor)

Dr. Jose Modesto Carrillo Sarango (Asesor)

ORCID: 0000-0003-0841-3064

Tumbes, 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
Licenciada
Resolución del Consejo Directivo N° 155-2019-SUNEDU/CD
ESCUELA DE POSGRADO
Tumbes – Perú

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Tumbes, a los veinte un días del mes de mayo del dos mil veintiséis, siendo las catorce horas y cero minutos, se reunieron los miembros del jurado calificador constituidos con la **RESOLUCIÓN N° 0399-2025/UNTUMBES-EPG-D** del tres de julio del dos mil veinticinco, presidido por el **Dr. Napoleon Puño Lecarnaqué**, e integrado por el **Dr. Eber Gines Tafur** (secretario) y el **Dr. José Modesto Carrillo Sarango** (vocal y asesor).

Instalado el jurado, se procedió a la evaluación, deliberación y calificación del acto de la sustentación de la tesis titulada: **"La teledetección como herramienta de análisis en la dinámica fluvial y su influencia en la gestión ambiental: caso río Tumbes – Tumbes 2025"**, presentada por el maestrante: **Henry Fernando More Medrano**, del programa de Maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental.

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte de sustentante y después de la correspondiente, deliberación el jurado, conforme a lo normado en el artículo N° 111 del Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al maestrante **Henry Fernando More Medrano**, *..Aprobada... por...Unanimidad con el calificativo de ..Excelente.....*

Por lo anterior, el sustentante está apto para iniciar los trámites correspondientes y conducentes a la obtención del grado académico de **Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental**, en conformidad con lo normado en la Ley Universitaria N° 30220, el Texto Único Ordenado del Estatuto, El Reglamento General, el Reglamento General de Grados Títulos y el Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las quince horas y cero minutos, del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia de público asistente.

Tumbes, 21 de mayo 2026


Dr. Napoleon Puño Lecarnaqué
(presidente)

DNI 00225904

<https://orcid.org/0000-0002-5008-8085>



Dr. Eber Gines Tafur
(secretario)

DNI 17542075

<https://orcid.org/0000-0003-0366-4438>



Dr. José Modesto Carrillo Sarango
(vocal y asesor)

DNI 00223850

<https://orcid.org/0000-0003-0841-3064>

C.c.
Jurado de Tesis
Interesado
Unidad de Investigación
Archivo (Director EPG).

Henry Fernando More Medrano

LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LA DINÁMICA FLUVIAL Y SU INFLUENCIA EN LA GESTION A...

LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LA DINÁMICA FLUVIAL Y SU INFLUENCIA EN LA GESTION AMBIENTAL. CASO R...

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trmid::3117590272669

Fecha de entrega
13 may 2026, 12:54 GMT-5

Fecha de descarga
13 may 2026, 12:53 GMT-5

Nombre del archivo
INFORME FINALHENRYOK(1).pdf

Tamaño del archivo
16.2 MB

128 páginas
17.593 palabras
104.891 caracteres



Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064


9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, por el 9%.

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar coincidencias que, a pesar de tener el mismo significado, no son idénticas. Si detectamos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo. Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y le revise.



Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064


Fuentes principales

- 8% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	1%
2	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-07-23	1%
3	Internet	repositorio.unsa.edu.pe	<1%
4	Internet	hdl.handle.net	<1%
5	Internet	repositorio.ana.gob.pe	<1%
6	Internet	dspace.ueb.edu.ec	<1%
7	Internet	idus.us.es	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Santo Tomas on 2025-06-05	<1%
9	Internet	red.i.unjbg.edu.pe	<1%
10	Internet	www.scribd.com	<1%
11	Internet	renati.sunedu.gob.pe	<1%



Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor

Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

12	Internet	repository.usfa.edu.co	<1%
13	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
14	Internet	vsip.info	<1%
15	Internet	www.senamhi.gob.pe	<1%
16	Internet	girona.mforos.com	<1%
17	Internet	paleodiversitas.org	<1%
18	Internet	regiontumbes.gob.pe	<1%
19	Internet	luisalberto.wordpress.com	<1%
20	Trabajos del estudiante	Organismo de Evaluación y Fiscalización on 2025-08-21	<1%
21	Internet	core.ac.uk	<1%
22	Internet	jornada.pucp.edu.pe	<1%
23	Trabajos del estudiante	Universidad Internacional del Ecuador on 2021-10-29	<1%
24	Trabajos del estudiante	Universidad San Ignacio de Loyola on 2025-11-23	<1%
25	Internet	zagan.unizar.es	<1%



Dr. José Modesto Carrillo Sarango
 Docente - Asesor
 Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

26	Internet	docplayer.es	<1%
27	Internet	era.ujat.mx	<1%
28	Internet	www.slideshare.net	<1%
29	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Colombia on 2024-11-11	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Yumbes on 2023-04-11	<1%



Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios, creador perfecto, pues “Él atrae las gotas de las aguas, al transformarse el vapor en lluvia, la cual destilan las nubes, goteando en abundancia sobre los hombres.” (Job 36:27-28), permitiendo que “Todos los ríos vayan al mar, y el mar no se llena; al lugar de donde los ríos vinieron, allí vuelven para correr de nuevo” (Eclesiastés 1:7)

También dedicado a mi familia y las personas que me han dado la oportunidad de desarrollarme y crecer profesionalmente hasta hoy, sus consejos y apoyo en distintas áreas de mi vida me ha permitido llegar a este momento.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme vida y salud. A mis padres y hermano, por el amor y apoyo hacia mis proyectos. A mis abuelos que ya partieron de este mundo, pero que cada una de sus palabras ha quedado en mi con el propósito de mejorar.

A mi asesor, Dr. Carrillo por su confianza y consejos, a los profesionales destacados como el Ing. Enrique Maceda, Dr. Napoleon Puño, Ing. Willian Luna y al Ing, Jose Boggio por sus aportes y absolver mis dudas durante el proceso de realización de esta investigación.

A mis amistades y personas que participaron no solo durante la realización del Informe de tesis, sino en las distintas visitas a campo con otros fines pero que me han servido de base para sustentar este trabajo.

INDICE

RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx
I. INTRODUCCIÓN	21
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	22
2.1. ANTECEDENTES	22
2.2. BASES TEÓRICAS - CIENTIFICAS	23
2.3. DEFINICION DE TERMINOS BÁSICOS	25
III. MATERIALES Y METODOS	37
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	37
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	37
3.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	37
3.2.1. POBLACION.....	37
3.2.2. MUESTRA Y MUESTREO	38
3.3. HIPOTESIS	39
3.3.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	39
3.3.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS	39
3.4. VARIABLE DE ESTUDIO	39
3.5. UBICACION	41
3.5.1. UBICACIÓN POLITICA.....	41
3.5.2. UBICACIÓN GEODÉSICA.....	41
3.5.3. UBICACIÓN HIDROGRAFICA.....	43
3.6. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO.....	45
3.6.1. REVISION BIBLIOGRAFICA	45
3.6.2. DESCRIPCION DE LA CUENCA.....	46
3.6.3. IDENTIFICACION PRELIMINAR	64

3.6.4.	INSPECCION DE CAMPO.....	74
3.6.5.	DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES	80
3.6.6.	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES	85
3.6.7.	DIGITALIZACION DEL CAUCE	88
3.6.8.	CÁLCULO DEL INDICE DE SINUOSIDAD	89
3.7.	ANÁLISIS Y DETECCION DE CAMBIOS	90
3.7.1.	CUADRANTE 1	91
3.7.2.	CUADRANTE 2	93
3.7.3.	CUADRANTE 3	96
3.7.4.	CUADRANTE 4	98
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	101
4.1.	RESULTADOS.....	101
4.1.1.	SINUOSIDAD DEL RIO TUMBES	101
4.1.2.	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DINAMICA FLUVIAL.....	109
4.1.3.	IMPLICANCIA EN LA GESTION AMBIENTAL.....	116
4.2.	DISCUSIONES	116
V.	CONCLUSIONES.....	119
VI.	RECOMENDACIONES	120
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
	ANEXOS.....	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sensores según misión Landsat y periodo	34
Tabla 2. Ubicación Geodésica por puntos en tramos de estudio.....	39
Tabla 3. Operacionalización de Variables	40
Tabla 4. Ubicación Geodésica del tramo en estudio.....	41
Tabla 5. Niveles de la Unidad hidrográfica Tumbes.....	43
Tabla 6. Bibliografía para Información Base	45
Tabla 7. Registro de caudales máximos en la Estación el Tigre 1963-2025	54
Tabla 8. Codificación para identificar imágenes Landsat.....	81
Tabla 9. Productos Landsat descargados desde 1973 - 2025.....	84
Tabla 10. Clasificación del cauce según índice de sinuosidad	90

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Cuenca Hidrográfica.....	26
FIGURA 2. Clasificación de los ríos según su edad.....	27
FIGURA 3. Clasificación de los ríos según su forma	28
FIGURA 4. Desarrollo de orillares en una llanura meándrica.	29
FIGURA 5. Evolución de meandros.....	30
FIGURA 6. Flujo del agua en una curva de meandro y elementos geomorfológicos	31
FIGURA 7. Proceso de teledetección	32
FIGURA 8. Espectro electromagnético.....	32
FIGURA 9. Composición de las imágenes multiespectrales	33
FIGURA 10. Cronología de lanzamiento de satélites.....	34
FIGURA 11. Firmas espectrales de distintas cubiertas.....	35
FIGURA 12. Localización de puntos límites de muestra	38
FIGURA 13. Tramo del río en Investigación	41
FIGURA 14. Mapa de Ubicación.....	42
FIGURA 15. Mapa de Ubicación Hidrográfico	44
FIGURA 16. Bibliografía de Revisión.....	45
FIGURA 17. Mapa de clasificación climática.....	47
FIGURA 18. Parámetros climáticos promedio de Tumbes.....	48
FIGURA 19. Aumento de Temperatura del Mar durante FEN 83	49
FIGURA 20. Precipitaciones medias mensuales entre 1964-1986 en la Estación Rica Playa	50
FIGURA 21. Desborde del río Tumbes 1998.....	50
FIGURA 22. Lluvias Intensas FEN costero 2017	51
FIGURA 23. Anomalía de TSM – Febrero 1983,1998 y 2017.....	51
FIGURA 24. Formación del ciclón Yaku 2023.....	52
FIGURA 25. Récord de Precipitación diaria acumulada – Estación Pizarro.....	52
FIGURA 26. Inundación Pluvial (2025) en el Instituto Pedagógico.....	53
FIGURA 27. Registro de caudal horario (m ³ /s) del día 01/03/2025	55
FIGURA 28. Variación del cauce del Río Tumbes en 1984	56
FIGURA 29. Variación del delta del Río Tumbes en 1984	58

FIGURA 30. Afloramientos de rocas graníticas (Pi-gr), 560306 E, 9583358N, margen izquierda del Rio Tumbes	59
FIGURA 31. Formación Heath, conformada por lutitas abigarradas y areniscas, vista desde coordenadas 559831E, 9583878N	60
FIGURA 32. Afloramientos de la formación Zorritos, coordenadas 560 066E, 9 587 086N	61
FIGURA 33. Fm. Cardalitos, constituido por Lutitas abigarradas con niveles de areniscas, coordenadas 559812E, 9585715N	61
FIGURA 34. Depósitos de la formación Tumbes 560179 E, 9585362N	62
FIGURA 35. Mapa Geológico de la cuenca del Rio Tumbes	63
FIGURA 36. Mapa de zonificación de cuadrantes para el Análisis Multitemporal	64
FIGURA 37. Relieve en el sector Higuerón	65
FIGURA 38. Imagen de 1969 (izquierda) con varios “brazos” , Imagen del 2013 (derecha) un solo cauce.....	66
FIGURA 39. Movimiento lateral del cauce hacia la margen izquierda, imagen del 2006 (izquierda) y 2011 (derecha)	66
FIGURA 40. Imagen del 2013 (izquierda) se aprecia encauzamiento – Imagen del 2016 (derecha) se aprecia islas en el cauce	67
FIGURA 41. Movimiento lateral del cauce hacia la margen izquierda, imagen del 2005 (izquierda) y 2012 (derecha)	67
FIGURA 42. Direccionamiento del flujo 2016 (izquierda) y desborde del Rio Tumbes por FEN 2017 (derecha)	68
FIGURA 43. Emplazamiento de Infraestructura de protección (2013).....	68
FIGURA 44. Comportamiento de la Infraestructura de protección ante eventos extremos: Imagen superior (Fenómeno el Niño 2017) e imagen Inferior (Ciclón Yaku 2023)	69
FIGURA 45. Sinuosidad del cauce evidenciada entre los años 1969 (Izquierda) – 1985 (derecha)	70
FIGURA 46. Desplazamiento lateral del cauce respecto a la desembocadura de la quebrada vaquería 1985 (izquierda), 2011 (centro) y 2017 (derecha)	70
FIGURA 47: Evolución de meandro en cuadrante N°2 del cauce del río Tumbes Imagen superior 1969(izquierda), 1985(centro) y 2011 (derecha) Imagen Inferior 2019(izquierda), 2022(centro) y 2024(derecha)	71

FIGURA 48: Evolución de meandro en cuadrante N°3 del cauce del río Tumbes Parte superior: 2011 (izquierda) y 2017 (derecha); parte inferior 2019 (izquierda) y 2023 (derecha)	72
FIGURA 49. Sinuosidad del cauce aguas arriba del Puente Tumbes -1985	73
FIGURA 50. Cauce de río Tumbes con Forma trenzada 2007 (izquierda) y recta 2013 (derecha)	73
FIGURA 51. Sinuosidad del cauce aguas abajo del Puente Tumbes -1985	74
FIGURA 52. Sinuosidad del cauce en el final del cauce del Río Tumbes 2011(izquierda), 2015(derecha) y 2019(izquierda).....	74
FIGURA 53. Geomorfología del Río Tumbes en el del Sector (Imagen 2021)	75
FIGURA 54. Acumulación de material grueso en ribera del Río Tumbes + Sector Arena (Imagen 2024)	76
FIGURA 55. Confluencia entre quebrada Cabuyal y Río Tumbes (Imagen 2024)	76
FIGURA 56. Presencia de barras de sedimentos dentro del cauce (Imagen 2021)	77
FIGURA 57. Gavión en la margen derecha del Río Tumbes (Imagen 2021).....	77
FIGURA 58. Curvatura en el sector malval 2020 (izquierda) y 2023 (derecha)...	78
FIGURA 59. Presencia de espigones en la margen izquierda del Río Tumbes. .	78
FIGURA 60. Curvatura del Río Tumbes entre el sector Pampa grande (cóncava) y Corrales (convexa)	79
FIGURA 61. Desfogue de las aguas residuales hacia el Río Tumbes.....	79
FIGURA 62. Dren el Piojo (2023)	80
FIGURA 63. Sector Huaquillas	80
FIGURA 64. Búsqueda según área de interés en USGS EarthExplorer.....	82
FIGURA 65. Selección de misión LANDSAT.....	82
FIGURA 66. Selección de Imagen LANDSAT	83
FIGURA 67. Descarga de Información	83
FIGURA 68. Factor de escala para Reflectancia Superficial en Landsat 8 y 9....	85
FIGURA 69. Error de bandas en Landsat 7.....	86
FIGURA 70. Corrección de Imágenes Landsat 7	86
FIGURA 71. Herramienta Crear Raster Virtual en Qgis	87
FIGURA 72. Herramienta Mosaic en ArcgisPro	87
FIGURA 73. Combinación 453 Para Imag. Landsat 5.....	88

FIGURA 74. Digitalización del cauce en QGIS.....	89
FIGURA 75. Cálculo de la sinuosidad	90
FIGURA 76. Tipos de sinuosidad	90
FIGURA 77. Cauce del rio tumbes - cuadrante 1 en los años 1976,1983 y 1984	91
FIGURA 78. Cauce del rio tumbes - cuadrante 1 en los años 1990,1993 y 1995	92
FIGURA 79. Cauce del rio tumbes - cuadrante 1 en los años 1998,1999 y 2012	92
FIGURA 80. Cauce del rio tumbes - cuadrante 1 en los años 2017,2023 y 2025	93
FIGURA 81. Cauce del rio tumbes - cuadrante 2 en los años 1976,1983 y 1984	93
FIGURA 82. Cauce del rio tumbes - cuadrante 2 en los años 1987,1990 y 1993	94
FIGURA 83. Cauce del rio tumbes - cuadrante 2 en los años 1998,1999 y 2002	94
FIGURA 84. Cauce del rio tumbes - cuadrante 2 en los años 2008, 2010 y 2012	95
FIGURA 85. Cauce del rio tumbes - cuadrante 2 en los años 2015, 2016 y 2017	95
FIGURA 86. Cauce del rio tumbes - cuadrante 2 en los años 2023, 2024 y 2025	96
FIGURA 87. Cauce del rio tumbes - cuadrante 3 en los años 1977,1984 y 1991	96
FIGURA 88. Cauce del rio tumbes - cuadrante 3 en los años 1993,1998 y 1999	97
FIGURA 89. Cauce del rio tumbes - cuadrante 3 en los años 2011,2015 y 2017	97
FIGURA 90. Cauce del rio tumbes - cuadrante 3 en los años 2023,2024 y 2025	98
FIGURA 91. Cauce del rio tumbes - cuadrante 4 en los años 1980,1984 y 1991	98
FIGURA 92. Cauce del rio tumbes - cuadrante 4 en los años 1993,1998 y 1999	99
FIGURA 93. Cauce del rio tumbes - cuadrante 4 en los años 2000,2002 y 2008	99
FIGURA 94. Cauce del rio tumbes - cuadrante 4 en los años 2011,2014 y 2017	100
FIGURA 95. Cauce del rio tumbes - cuadrante 4 en los años 2023,2024 y 2025	100
FIGURA 96. Mapas de eje del cauce y sinuosidades (1976-2025)	107
FIGURA 97. Variaciones del cauce del rio Tumbes	108
FIGURA 98. Variaciones del cauce del rio Tumbes por cuadrante.....	115

RESUMEN

La presente investigación, titulada “La teledetección como herramienta de análisis en la dinámica fluvial y su influencia en la gestión ambiental: Caso Río Tumbes – Tumbes 2025”, tuvo como objetivo principal analizar la dinámica fluvial del Río Tumbes mediante Teledetección y su implicancia en la gestión ambiental. La metodología se basó en un enfoque descriptivo-longitudinal que integró la revisión bibliográfica, inspección de campo y el procesamiento digital de imágenes satelitales multitemporales abarcando un periodo de 52 años (1973-2025). Se calculó el índice de sinuosidad y se realizó el análisis comparativo por cuadrantes para identificar las variaciones más importantes. Los resultados evidencian que el río Tumbes presenta una marcada movilidad lateral condicionada por factores geológicos, geomorfológicos e hidrológicos sobre todo ante la presencia de eventos extremos. No obstante, la actividad antrópica, manifestada en la expansión masiva de pozas langostines y la ocupación de terrazas fluviales, ha fragmentado el ecosistema de manglar y confinado el cauce, incrementando la vulnerabilidad ante desastres. El análisis del índice de sinuosidad y la caracterización morfológica multitemporal permitieron clasificar tramos del río con sinuosidad regular y transicional en distintos periodos, demostrando que la posición actual del cauce no representa su comportamiento histórico ni su tendencia futura. En conclusión, la teledetección se valida como una herramienta eficaz y confiable para comprender la dinámica fluvial del río Tumbes y que su aplicación resulta fundamental para fortalecer la gestión ambiental, el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo en la región, promoviendo una planificación basada en el comportamiento histórico del río y no en su condición actual.

Palabras clave: Teledetección, dinámica fluvial, gestión ambiental, Río Tumbes.

ABSTRACT

This research, entitled “Remote Sensing as an Analytical Tool in River Dynamics and its Influence on Environmental Management: The Tumbes River Case Study – Tumbes 2025,” aimed to analyze the fluvial dynamics of the Tumbes River using remote sensing and its implications for environmental management. The methodology was based on a descriptive-longitudinal approach that integrated a literature review, field inspection, and digital processing of multi-temporal satellite images covering a period of 52 years (1973–2025). The sinuosity index was calculated, and a comparative analysis was performed by quadrant to identify the most significant variations. The results show that the Tumbes River exhibits marked lateral mobility conditioned by geological, geomorphological, and hydrological factors, especially in the presence of extreme events. However, human activity, manifested in the massive expansion of shrimp ponds and the occupation of river terraces, has fragmented the mangrove ecosystem and confined the river channel, increasing its vulnerability to disasters. The analysis of the sinuosity index and the multitemporal morphological characterization allowed for the classification of river sections with regular and transitional sinuosity in different periods, demonstrating that the current position of the channel does not represent its historical behavior or its future trend. In conclusion, remote sensing is validated as an effective and reliable tool for understanding the fluvial dynamics of the Tumbes River, and its application is fundamental for strengthening environmental management, land-use planning, and risk management in the region, promoting planning based on the river's historical behavior and not on its current condition.

Keywords: Remote sensing, fluvial dynamics, environmental management, Tumbes River.

I. INTRODUCCIÓN

La carencia de información de las autoridades y ciudadanía respecto a la dinámica de los ríos aumenta la vulnerabilidad de las poblaciones cada vez que se presentan eventos extraordinarios como las lluvias intensas, lo cual conlleva a un aumento del caudal en los cauces naturales (Domínguez, 2010).

Hernández (2016), establece que la dinámica fluvial se produce por una serie de factores naturales, sin embargo, la intervención humana y cambios en el uso de suelo generan que el cauce de un río varíe respecto a su forma y sinuosidad, lo cual trae consigo una mayor exposición al riesgo por parte de las poblaciones aledañas.

El río Tumbes durante los años ha tenido modificaciones en lo que respecta a su cauce; así, por ejemplo, lo que actualmente son los drenes Correntoso y su prolongación el dren El Piojo, hace algún tiempo formaron parte del curso principal (Reyes, 2003). Estos cambios se dan con notoriedad cuando ocurren los eventos de máximas avenidas; sin embargo, existen otros factores que desencadenan este comportamiento, como la propia actividad antrópica tanto en la agricultura como en la construcción de infraestructura.

Cada vez que se produce el fenómeno El Niño (FEN), el caudal sólido y líquido al sobrepasar la capacidad hidráulica del cauce, empieza a ensanchar, a la vez que erosiona y desborda por las márgenes, afectando centros poblados cercanos, áreas agrícolas y langostineras (LAGESA, 1990). Esta variación conlleva también a un cambio en la geomorfología del sector y alteración del ecosistema, así como daños a las infraestructuras existentes (Quincho, 2015).

La investigación analizará la dinámica fluvial que el río Tumbes ha tenido a lo largo del tiempo, para así entender los procesos de erosión y sedimentación que se han generado en áreas aledañas al cauce, teniendo como insumo principal las imágenes satelitales identificando las variaciones más resaltantes y los factores que la generan.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Vargas y Suarez (2021), realizaron el análisis multitemporal de la dinámica fluvial en el río San Juan - Cundinamarca relacionado con la variación de coberturas de la tierra para los años 2002, 2010 y 2018. Desarrolló un enfoque mixto, en el cual utiliza el coeficiente de correlación de Pearson para relacionar estas dos variables, concluyendo que las coberturas de suelo que han tenido una disminución considerable en los periodos de estudio corresponden al arbustal denso, vegetación secundaria baja, bosque de galería y ripario, respecto al aumento, este corresponde a pastos limpios y pastos enmalezados. De forma general se identificó que los aumentos se dieron en zonas con coberturas antrópicas y la disminución ocurrió en coberturas naturales, donde las zonas con mayor variación corresponden a la zona media y alta del afluente principal.

Moral (2021), llevo a cabo su investigación en dos sectores distintos de la rambla Cariñena, ubicada en la cuenca del Ebro, en la cual se analizó el desarrollo geomorfológico del cauce desde mediados del siglo XX y calculó el caudal máximo que pueden soportar los puentes localizados en dicha rambla. Se concluye que la calidad hidrogeomorfológica de la rambla de es deficiente en su tramo urbano y moderada en su sección más natural. Este tipo de sistemas efímeros se deben considerar, ya que su mal cuidado puede llegar a generar severos impactos.

Gómez (2021) identificó la variación del rio Magdalena en el periodo 2013 - 2021 mediante el análisis de imágenes satelitales Landsat 8, calculando el NDWI, así mismo desarrolló un modelamiento hidráulico para determinar de zonas susceptibles a inundación en la zona urbana del municipio de Puerto Boyacá. Obteniendo como resultado una aproximación de los tirantes de agua por efectos del fenómeno de la Niña y correlacionarlos con las variaciones de la dinámica fluvial del río.

Lama (2020) se centra en analizar el funcionamiento del hidrogeomorfológico de la cuenca del arroyo de El Partido, mediante un estudio de forma integral en toda la cuenca y a nivel del sistema canal-orilla-llanura aluvial. Los resultados indican que la densidad de drenaje en 1956 era de 2 295 km de cauce por cada km² de cuenca, aumentando a 2,680 km/ km² para el 2014. Concluyendo que la variación en los usos del suelo y el crecimiento de la actividad antrópica en los últimos años han ocasionado graves perturbaciones en el funcionamiento hidrogeomorfológico de la cuenca.

Vega (2020) evaluó la dinámica fluvial del Río Chiriquí Viejo, y estudió la incidencia del cambio climático en el comportamiento del régimen fluvial y su incidencia en la producción agrícola, mediante un enfoque cualitativo. Los resultados demostraron que las variaciones en el del río se han pasado de una forma monocal canal rectilíneo y meándrico hacia una forma multicanal anastomosado, desde 1998 hasta el 2018, debido a la construcción de las centrales hidroeléctricas construidas durante ese periodo.

Ramos & Alva (2020) analizó el Río Huallaga el cual ha dejado un cauce abandonado debido a su cambio de dirección, mediante el análisis multicriterio en el cual considera factores como la geomorfología, geología, hidrología de la cuenca, etc. Identificando que en el año 1987 el río Huallaga se formó un meandro debido a la variación del cauce y de la misma manera en otras zonas se evidencia que el río suele mover su eje hacia la zona norte.

2.2. BASES TEÓRICAS - CIENTIFICAS

Ollero (2007), define a la dinámica fluvial como el conjunto de procesos complejos y transformaciones de los sistemas fluviales a través del tiempo y espacio. De la misma manera así, la morfología fluvial es una subdisciplina de la dinámica fluvial que estudia y analiza los resultados de los procesos fluviales (erosión y transporte de sedimentos).

Es importante indicar que los ríos y quebradas no son simples cuerpos de agua, pues estos se encuentran relacionados al medio ambiente y las variaciones en el cauce ocasionan alteraciones en el sistema, llegando a modificar los ecosistemas,

calidad de agua, y otros impactos significativos en la población humana y otros medios de vida. (Pantevis, 2020)

Los sistemas fluviales presentan un equilibrio dinámico (Chorley y Kennedy, 1971), que los obliga a reacomodarse de manera constante frente a las variaciones de caudal líquido y sólido, lo cual se traduce en movimientos laterales y verticales. (Werritty, 1997)

También, Rocha (1998), considera que “el transporte sólido, es uno de los factores determinantes en la morfología de los ríos, el cual no se puede predecir solamente en base a los caudales o tamaño del área de drenaje. Por ende, es importante comprender primeramente el concepto de dinámica fluvial para el desarrollo de la Hidráulica Fluvial.

La geomorfología de los ríos aluviales es dinámica, en la que ocurren procesos en escalas pequeñas y grandes a nivel espacial y temporal, los cuales incluyen el desarrollo de formas como, por ejemplo, barras, rizos y dunas; además se generan macroestructuras morfológicas como deltas, conos de deyección; así mismo se presenta erosión y sedimentación del lecho y/o ribera a lo largo del recorrido del cauce, etc. (Vide, 2009)

Según Lewin (1977) los cambios en el cauce de un río puede ser de dos tipos: autogénicos (inherentes al régimen fluvial) y cambios alogénicos (alteraciones del sistema, incluyendo las inducidas por el hombre)

Respecto a los cambios propios por del régimen fluvial se tiene en cuenta los procesos de erosión y sedimentación de una cuenca, que se deben a fenómenos de inundación que favorecen los cambios acelerados del cauce, o para cambiar tendencias en el ajuste morfológico del mismo.

También se modifica un cauce por actividad antrópica, así Roldán (1988) explica el caso del río en Antioquia, donde refiere que dicha variación se debe a obras regulación hidrológica, presencia de diques de protección, infraestructura como malecones, la explotación de recursos (canteras), etcétera, los cuales alteran profundamente la morfología de los cauces.

Rocha (1998) indica que el Fenómeno de El Niño ha tenido influencia en la configuración del cauce de los ríos de la costa peruana. Así también las sequías juegan un papel importante en la determinación y variación del curso de los ríos. Sin embargo, se debe considerar que estos procesos son distintos en las zonas húmedas, zonas áridas y semiáridas.

Para el caso del río Tumbes, Nuñez (2006) considera que las variaciones del cauce fluvial se originan por factores geológicos, hidrológicos, meteorológicos y por la acción humana, relacionando las mayores variaciones con la presencia del FEN.

Para analizar la dinámica fluvial a través del tiempo se utiliza el sensoramiento remoto, a través de una comparación de coberturas calculadas e interpretadas a partir de dos a más imágenes de satélite, de un mismo lugar en diferentes periodos, con lo cual se permite evaluar los cambios existentes en la dirección del cauce.

2.3. DEFINICION DE TERMINOS BÁSICOS

1. Cuenca Hidrográfica

Ramakrishna (1997) define a la cuenca hidrográfica como el espacio donde el agua de la precipitación converge para formar un cauce principal; asimismo, señala que sus límites o divisorias de aguas se establecen de manera natural y coinciden con las zonas más elevadas que delimitan el área drenada por un río.

La cuenca hidrográfica representa una unidad territorial natural donde la precipitación al convertirse en escorrentía se conduce hacia un punto de salida, o sea es un área delimitada por una divisoria topográfica que drena a un cauce común (Brooks, 1989, Citado por FAO, 1993).



FIGURA 1. Cuenca Hidrográfica

Hernández (1987) desde el punto de vista del manejo indica que la cuenca se trata de un entorno ambiental compuesto por componentes biofísicos y socioeconómicos en permanente interacción. Por su parte Sánchez (1995), concibe la cuenca como “una unidad espacial global, definida geográficamente por su área de drenaje natural hacia un mismo cuerpo de agua; un entorno donde la interacción de los sistemas físico-bióticos sustenta los procesos de producción antrópicos.

2. Río

“Un río es un medio con flujo bifásico pues contiene agua y sedimento, cuando existe un desequilibrio espacial y/o temporal del transporte implica variaciones de la cota del fondo y erosiones en una curva o caída. La diversidad de los ríos es grande, pues depende del clima, relieve, geología y ecología, los cual da lugar a ríos distintos como los de montaña, llanura, grandes o pequeños, secos y húmedos, de grava o arena” (Vide, 2009, pag.23-24)

Los ríos pueden clasificarse de la siguiente manera.

Según su régimen hidrológico (Caruanambo, 2018)

- Ríos Efímeros: Aquellos que tienen agua en periodos de fuertes precipitaciones y en el resto de los meses, pero se vuelven secos.
- Ríos Perennes: Aquellos que tienen agua en forma permanente durante todo el año.

Según su edad

- Los ríos jóvenes, se refiere a la primera fase de concepción de un río y se encuentra en los cauces de montaña; caracterizándose por poseer pendientes altas y gran fuerza erosiva. Siendo su sección transversal del tipo “V”. Suelen ser irregulares y están en proceso permanente de degradación. (Gracia & Maza, 2013).
- Los ríos maduros, son aquellos que han logrado cierto grado de equilibrio, tienen poca pendiente, se presentan en valles amplios y altas velocidades de flujo, además transportan partículas como arena, gravas y cantos rodados por ende la erosión del fondo se ve reemplazada por la erosión de las márgenes. Los ríos maduros tienen una sección transversal de forma trapecial y se va profundizando con el paso de tiempo. (Gracia & Maza, 2013).
- Los ríos viejos, en este tipo de ríos la pendiente es muy baja al igual que la velocidad y se encuentran en valles amplios, los cuales se originan por la deposición natural de sedimentos a lo largo de las márgenes, presentando trenzamientos y meandros formando amplias planicies y pantanos en las zonas vecinas a las márgenes del río. (Gracia & Maza, 2013).



FIGURA 2. Clasificación de los ríos según su edad

Según su lecho

Schum (1977) clasifica los ríos según la composición de su cauce, considerando dos criterios importantes, los cuales se describen a continuación:

- Cauces de lecho rocosos: Aquellos que se encuentran entre afloramientos rocosos, por lo tanto, las márgenes y el material que se constituye en el fondo determinan la forma del cauce.
- Cauces aluviales: Para este caso, el fondo del río se constituye del material transportado por este mismo bajo las condiciones de su flujo.

De acuerdo a su forma, existen tres grandes grupos de ríos que se presentan a continuación:

- Ríos rectos: No son frecuentes y en ocasiones resultan ser parte de un encauzamiento o cercanía a alguna estructura. Rocha (1998), según su experiencia indica que los cursos de agua verdaderamente rectos son poco frecuentes. En la realidad lo que existe son ríos que tienen pequeños tramos rectos cuya longitud referencial puede ser tan solo del orden de 10 veces el ancho del río, a esta clase de ríos se les llama semirectos.
- Ríos entrelazados: Presentan un diseño multicanalizado y de baja sinuosidad, el río corre en forma de varios canales que rodean pequeñas islas. Rocha (1998), planteó el porqué del origen estas formaciones, una de ella es el transporte de sedimentos, cuyo exceso es depositado en el cauce dando lugar a bancos (islas) y las altas pendientes que dan lugar a pequeños tirantes.
- Meándricos: Están constituidos por una serie de curvas que son muy dinámicas, lo cual se debe principalmente al comportamiento fluvial y no tanto por las propiedades del terreno. Rocha (1998) señala que “el alineamiento meandriformes es la forma pausable en la que los ríos aluviales tienden a disminuir progresivamente su pendiente para lograr un equilibrio dinámico en el sistema.



FIGURA 3. Clasificación de los ríos según su forma

3. Inundación

Una inundación de origen fluvial se produce por la limitación del cauce para contener cierto volumen de agua, por lo tanto, ocurren desbordes ocasionando daños en zonas urbanas y/o rurales aledañas a la fuente de agua. Las inundaciones son fenómenos naturales que solo se convierten en desastres ante la ausencia de preparación.

4. Erosión

Los procesos que desarrolla la dinámica del río corresponden a la erosión fluvial en el cual los ríos desgastan el terreno por el que circulan, por lo tanto, se le considera como un agente erosivo primario.

Según Prado (2019) el escurrimiento superficial desgasta los materiales de las orillas fluviales y los moviliza en forma de sedimentos hacia el océano.

5. Sedimentación

En geología la sedimentación, se le define como el proceso mediante el cual los sedimentos, constituidos por partículas sólidas, se depositan en zonas específicas de la superficie, siendo estos sedimentos materias sólidas, en forma de partículas provenientes de la acción de ciertos agentes erosivos. Suarez (2001) afirma que a nivel mundial, entre una cuarta y una tercera parte de los sedimentos erosionados se dirige al mar, mientras que los demás quedan retenidos en planicies de inundación, ríos, lagos y presas.

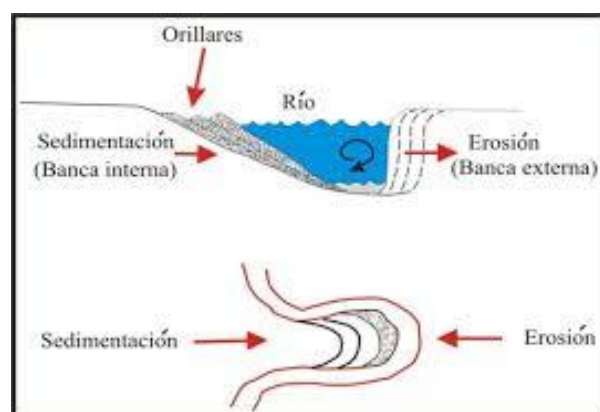


FIGURA 4. Desarrollo de orillares en una llanura meándrica.

Fuente: Núñez & Medina (2008)

6. Meandro

La palabra meandro tiene su origen en el Río Menderes de Turquía, región históricamente habitada por numerosas civilizaciones. Esta forma fluvial está integrada por dos curvaturas que, al unirse, generan un trazado semejante a la letra “S” (Ramírez, 2012).

Este fenómeno comienza con la aparición de acumulaciones de sedimentos espaciadas en el lecho, que alteran la dirección del flujo. La corriente desviada desgasta la orilla hacia la que se dirige y acumula materiales en la contraria, hasta que el canal evoluciona de una forma sinuosa a meandros de mayor curvatura (Cobo, 2015, p.26)

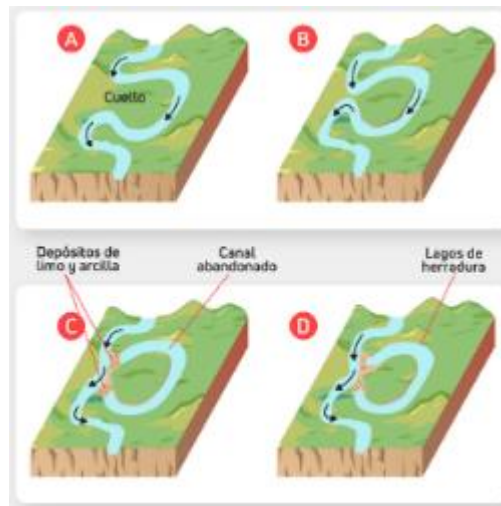


FIGURA 5. Evolución de meandros

Fuente: Mastergis

Según Cobo (2015) Los procesos de migración suelen ser complejos y la forma, lugar y velocidad con la que ocurren va a depender de una combinación de factores como la topografía, geología, régimen hidrológico-climático, transporte de sedimentos, umbrales.

7. Thalweg

Denominado vaguada, término que significa “camino del valle” en alemán, es la línea imaginaria que enlaza las mayores profundidades a lo largo de la sección transversal fluvial (Rocha, 2009)

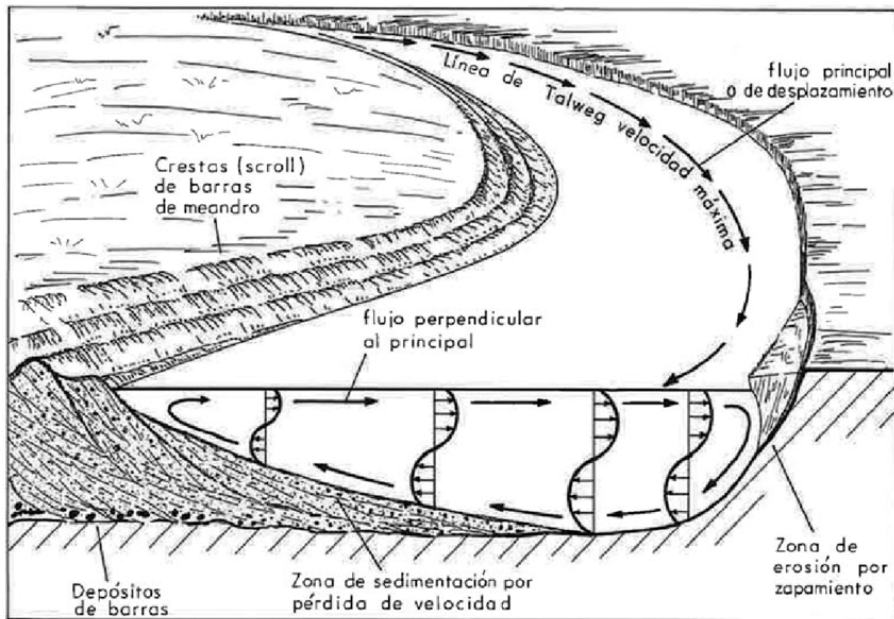


FIGURA 6. Flujo del agua en una curva de meandro y elementos geomorfológicos

Fuente: Pedraza y Díez Herrero 1996

8. Gestión Ambiental

Según la Real Academia Española (2020), la gestión ambiental comprende el conjunto de acciones sistemáticas orientadas a mitigar o erradicar los daños al entorno, garantizando así la sostenibilidad. Desde una perspectiva más enfocada en la intervención del territorio, Carmona (2010) señala que esta disciplina se ocupa de gestionar las alteraciones significativas —los impactos ambientales— que surgen producto de la interacción entre los ecosistemas naturales, el entorno socioeconómico y el desarrollo de proyectos de infraestructura.

9. Sistema de Información Geográfica

El Sistema de Información Geográfica (SIG) comprende el conjunto de herramientas, métodos y procedimientos diseñados para la captura, almacenamiento, análisis, gestión y visualización de datos geospaciales. De acuerdo con Chuvieco (2006), un SIG integra diferentes tipos de información georreferenciada, permitiendo su procesamiento y análisis para la toma de decisiones en diversos campos, como la ordenación del territorio, la gestión ambiental, la planificación urbana y el monitoreo de recursos naturales.

10. Teledetección

Constituye un conjunto de métodos y tecnologías de vanguardia diseñados para identificar, extraer y cuantificar los atributos de diversos elementos geográficos de interés. Este proceso se realiza de forma remota, apoyándose en sensores que operan sin interactuar materialmente con el objeto de estudio (JARS, 1993).

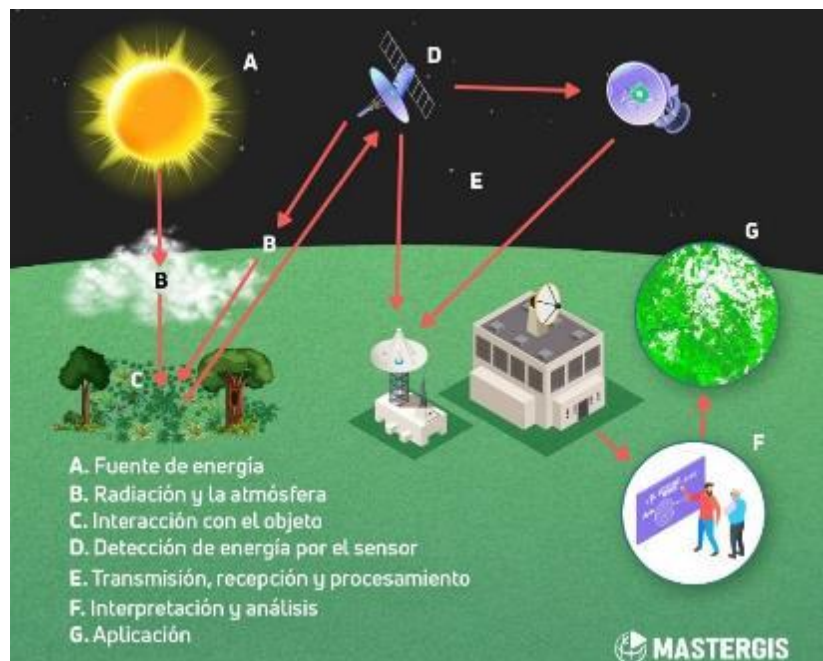


FIGURA 7. Proceso de teledetección

Fuente: Mastergis

11. Espectro electromagnético

Según la NASA (2011), el espectro electromagnético es el sistema que organiza toda la energía, desde las ondas más cortas de origen cósmico hasta las más largas de radio, de acuerdo con su longitud de onda y que se propaga a la velocidad constante de la luz. Asimismo, el espectro visible para el ojo humano comprende las ondas electromagnéticas con longitudes de onda entre 380 nm y 780 nm.

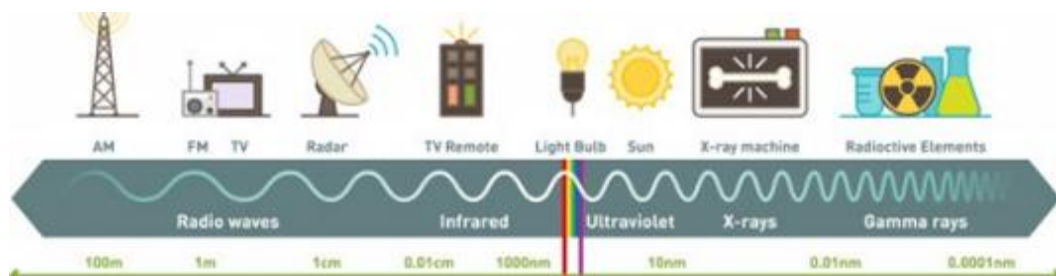


FIGURA 8. Espectro electromagnético

12. Imagen multispectral

Se trata de información captada por sensores digitales que miden la energía reflejada en diversas bandas, otorgando a cada unidad mínima de la imagen (píxel) una serie de valores numéricos asociados. Este tipo de imagen es un insumo versátil en teledetección, pues proporciona la huella o firma espectral de los objetos, permitiendo un análisis detallado de la superficie sin contacto directo.

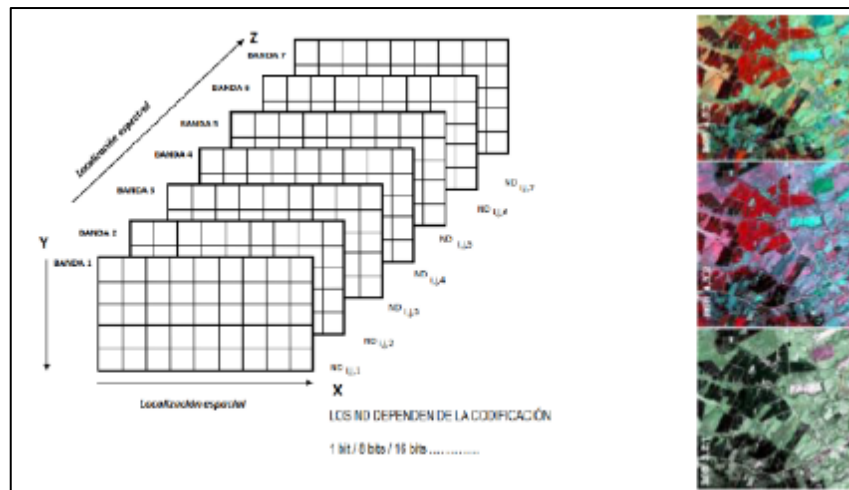


FIGURA 9. Composición de las imágenes multispectrales

13. SATÉLITE LANDSAT

Bajo la administración de la NASA y el USGS, el programa Landsat constituye la serie de misiones de observación remota más longeva de la Tierra. Desde la puesta en órbita del satélite pionero en 1972, se ha generado un flujo continuo de información sobre la dinámica de los suelos.

El aporte más reciente lo brinda el Landsat 8, operativo desde 2013, cuya tecnología garantiza la expansión y disponibilidad de datos de reflectancia para usuarios en todo el mundo, permitiendo estudios multitemporales de largo alcance.

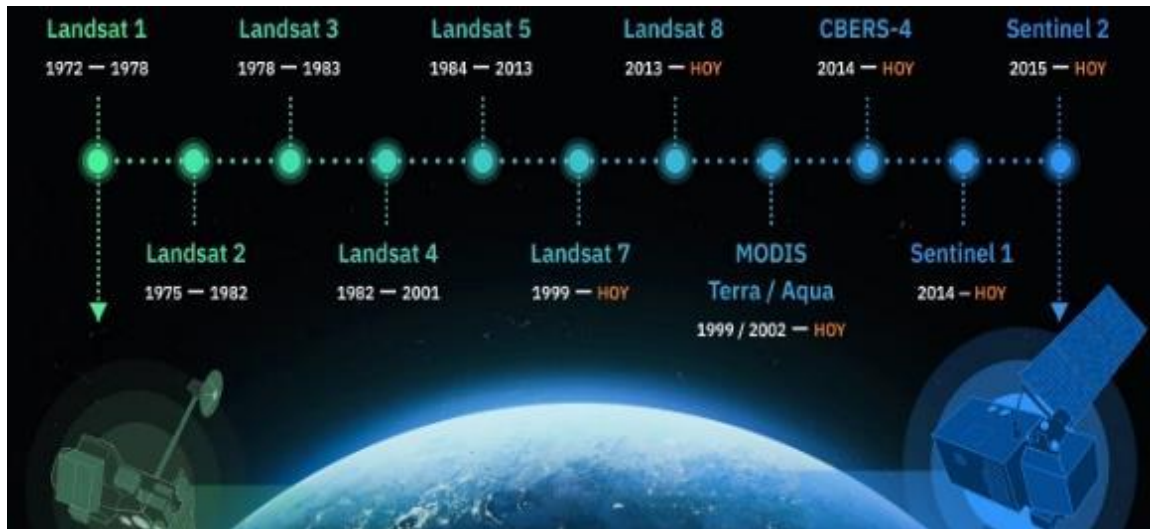


FIGURA 10. Cronología de lanzamiento de satélites

Fuente: EOS Data Analytics

14. Sensores

Los satélites están equipados con sensores o instrumentos capaces de registrar la radiación electromagnética reflejada o emitida por fuentes atmosféricas y terrestres. Estos sensores pueden ser pasivos (su fuente de energía es la radiación reflejada) o activos (tienen propia fuente de energía)

iene sensores pasivos como el Multispectral Scanner Sensor, también conocido como MSS, el Thematic Mapper, conocido como TM, y el Enhanced Thematic Mapper Plus, conocido como ETM+. Además en las últimas misiones de LANDSAT 8 y 9, se incorporó dos nuevos instrumentos al Operational Land Imager, conocido como OLI y el Thermal Infrared Sensor, conocido como TIRS. (GIS and Beers, 2019)

Tabla 1.

Sensores según misión Landsat y periodo.

Sensor	Satélite	Periodo de operación	Resolución espacial
MSS	Landsat 1–5	1972 – 1992	60 m
TM	Landsat 4–5	1982 – 2012	30 m (óptico)
ETM+	Landsat 7	1999 – presente	30 m (óptico), 15 m pancromática
OLI	Landsat 8	2013 – presente	30 m (óptico)
OLI-2	Landsat 9	2021 – presente	30 m
TIRS	Landsat 8–9	2013 – presente	100 m (térmica)

15. Firma espectral

La teledetección se fundamenta en la interacción entre el espectro electromagnético y la superficie terrestre. Cuando se elabora un gráfico que relaciona la cantidad de radiación reflejada por una cobertura con la longitud de onda correspondiente, se obtiene lo que se conoce como firma espectral. (Alvaro, s.f., p. 11).

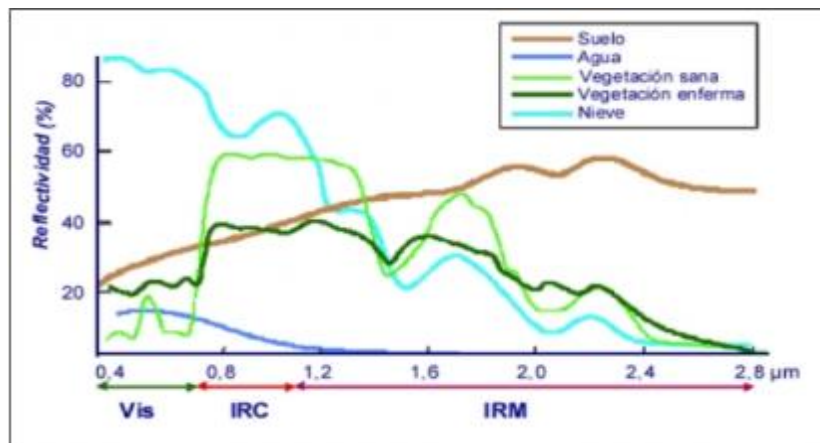


FIGURA 11. Firmas espectrales de distintas cubiertas

16. Análisis Multitemporal

Los análisis multitemporales facilitan la identificación de cambios entre distintas fechas de referencia, permitiendo inferir la evolución del entorno natural y los efectos de la intervención humana sobre este (Pantevis y Torres, 2020)

El desarrollo de un proyecto que tiene como insumo las imágenes satelitales, trae consigo la selección de un sensor como recurso y las fechas de adquisición de este. Sin embargo, la metodología depende de las salidas gráficas y sus respectivas escalas, que se pretenden obtener como resultado final (Alonso & Moreno, 1996).

17. Clasificación supervisada

Rasilla & Conde (2023) indican que la clasificación supervisada consiste en la selección estratégica de áreas de control, en las cuales se identifican píxeles con características similares, relacionándolos entre sí para definir clases o categorías, el patrón radiométrico extraído de estas áreas se utiliza como base para clasificar la totalidad de la imagen. Dentro de los algoritmos convencionales para este

proceso, destaca el método de máxima verosimilitud (Maximum likelihood classifier).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con su propósito, la investigación se clasifica como aplicada, ya que busca generar conocimiento a partir de su implementación práctica, de modo que pueda emplearse en el abordaje de una problemática específica (Lozada, 2014); en el caso de la dinámica fluvial se pondrá en práctica los conocimientos en hidrología, hidráulica y geomorfología fluvial, con el fin entender las variaciones que ocurren en el trazo del eje de un río en el tiempo.

Según su enfoque, se trata de una investigación *ex post facto*, orientada a establecer posibles relaciones de causa-efecto a partir de la observación de hechos ya ocurridos; en este caso, tomando como objeto de estudio la dinámica fluvial y el análisis de los factores que influyen en el comportamiento del río.

3.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrollará con un diseño descriptivo longitudinal, debido a que implica la recolección y el análisis de datos a lo largo del tiempo durante un periodo extendido.

3.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.2.1. POBLACION

La población se constituye de los 230 km del río Tumbes que discurren en territorio peruano que se tiene como objeto de estudio.

3.2.2. MUESTRA Y MUESTREO

El tamaño de la muestra corresponde a los tramos en los que se ha dividido el río Tumbes desde el sector Higuerón hasta su desembocadura en el cual se identifican con notoriedad una variación del eje del cauce a lo largo del tiempo.

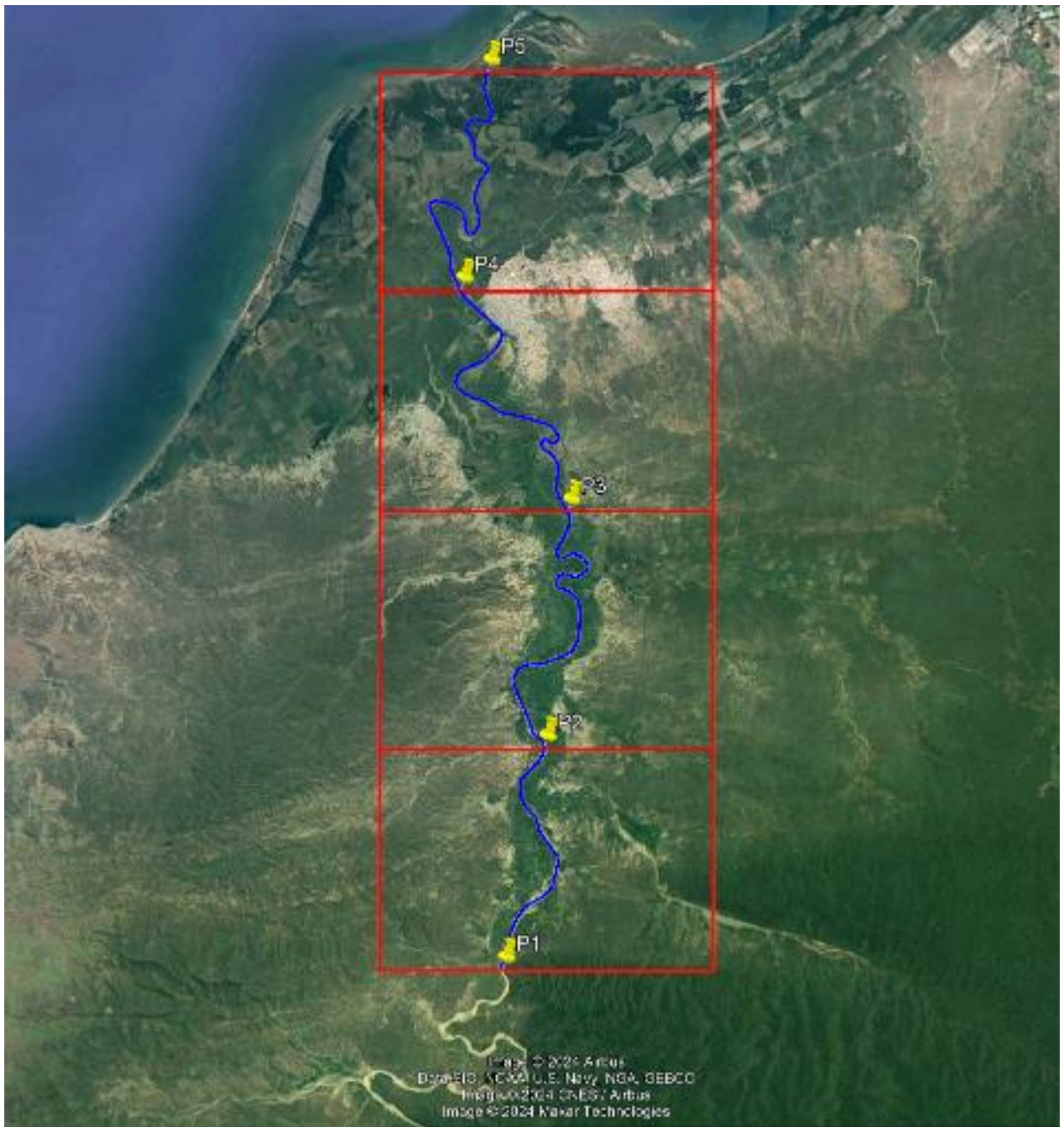


FIGURA 12. Localización de puntos límites de muestra

En la siguiente Tabla, se detalla la ubicación geográfica en sistema de coordenadas Projectado UTM WG84 Zona 17 S, de los puntos que limitan el inicio y fin de cada cuadrante.

Tabla 2.

Ubicación Geodésica por puntos en tramos de estudio.

PUNTO	COORDENADA		LONGITUD REFERENCIAL (Km)
	ESTE	NORTE	
1	560 360,79	9 583 034,69	
2	561 781,66	9 590 549,63	8,89
3	562 606,95	9 598 596,05	12,30
4	558 944,16	9 606 147,84	12,20
5	559 867,53	9 613 560,31	12,30

3.3. HIPOTESIS

3.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

- La teledetección es una herramienta eficaz para el análisis de la dinámica fluvial del río Tumbes, permitiendo relacionar el comportamiento del cauce a través del tiempo y su influencia en la gestión ambiental.

3.3.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS

- El análisis multitemporal de imágenes satelitales revela modificaciones notables en el trazado del cauce del río Tumbes desde el sector Higuerón hasta la desembocadura, durante el periodo 1973-2025.
- Los factores que condicionan las variaciones del cauce del río son naturales y antrópicos, los cuales originan procesos de erosión y sedimentación asociados a eventos climáticos extremos.
- La aplicación de técnicas de geoprocésamiento permitirá generar mapas temáticos que representen la variación del cauce del río Tumbes desde 1973 hasta 2025.
- La dinámica fluvial del río Tumbes tiene implicancia en la gestión ambiental de la región, en los procesos de planificación territorial, manejo de recursos hídricos y prevención de riesgos de desastres.

3.4. VARIABLE DE ESTUDIO

Variable Independiente

- Dinámica Fluvial

Variable Dependiente

- Gestión Ambiental

Tabla 3. Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	UNIDAD DE MEDIDA
Variable Independiente: Dinámica Fluvial	"Es un conjunto de procesos complejos activos y metamorfosis de los sistemas fluviales tanto en su componente espacial como en su evolución temporal" (Ollero, 2007, p.4).	Hidrología	caudales	Revisión de registros de caudales	m ³ /s
		Geomorfología	Cambios en la morfología del cauce	Análisis de Imágenes Satelitales	m ²
		Antrópicas	Cambio de uso de suelo	Geoprocesamiento	m ²
Variable Dependiente: Gestión Ambiental	La gestión ambiental es el conjunto de acciones normativas, administrativas y operativas que buscan la protección y mejora del medio ambiente, mediante la planificación, ejecución y control de actividades humanas que puedan impactarlo (Gonzales, 2016)	Planificación Territorial	Zonificación del territorio	Análisis de documentos y cartografía oficial	
		Manejo del Recurso Hídrico	Disponibilidad y aplicación de planes de gestión	Análisis de documentos normativos	
		Mitigación de Riesgos	Estrategias de Mitigación ante eventos extremos	Evaluaciones de riesgo por eventos extremos	

3.5. UBICACION

3.5.1. UBICACIÓN POLITICA

Región : Tumbes
Provincia : Tumbes
Distritos : Tumbes, Corrales, San Juan de la Virgen, Pampas de Hospital y San Jacinto

3.5.2. UBICACIÓN GEODÉSICA

La zona de estudio específicamente es el río Tumbes, desde el sector Higuerón hasta su desembocadura en una longitud aproximada de 40 km; encontrándose al Sur de la línea ecuatorial y al lado Occidental del meridiano de Greenwich en las siguientes coordenadas geodésicas.

Tabla 4.

Ubicación Geodésica del tramo en estudio

Sistema y Zona	Longitud (Km)	Componentes	PUNTO	
			INICIO	FINAL
UTM WGS84 17S	40	Este (m)	560 357	561 528
		Norte (m)	9 583 408	9 615 536

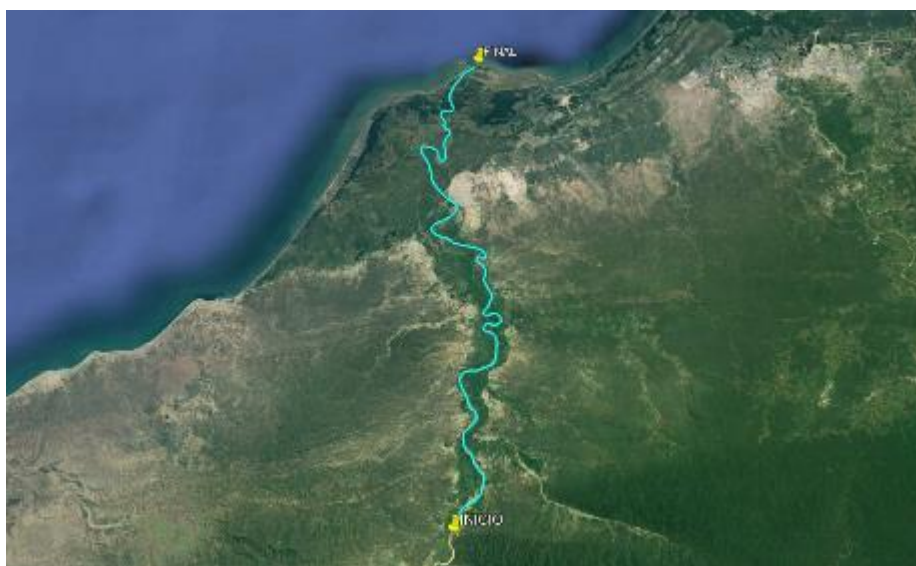


FIGURA 13. Tramo del río en Investigación

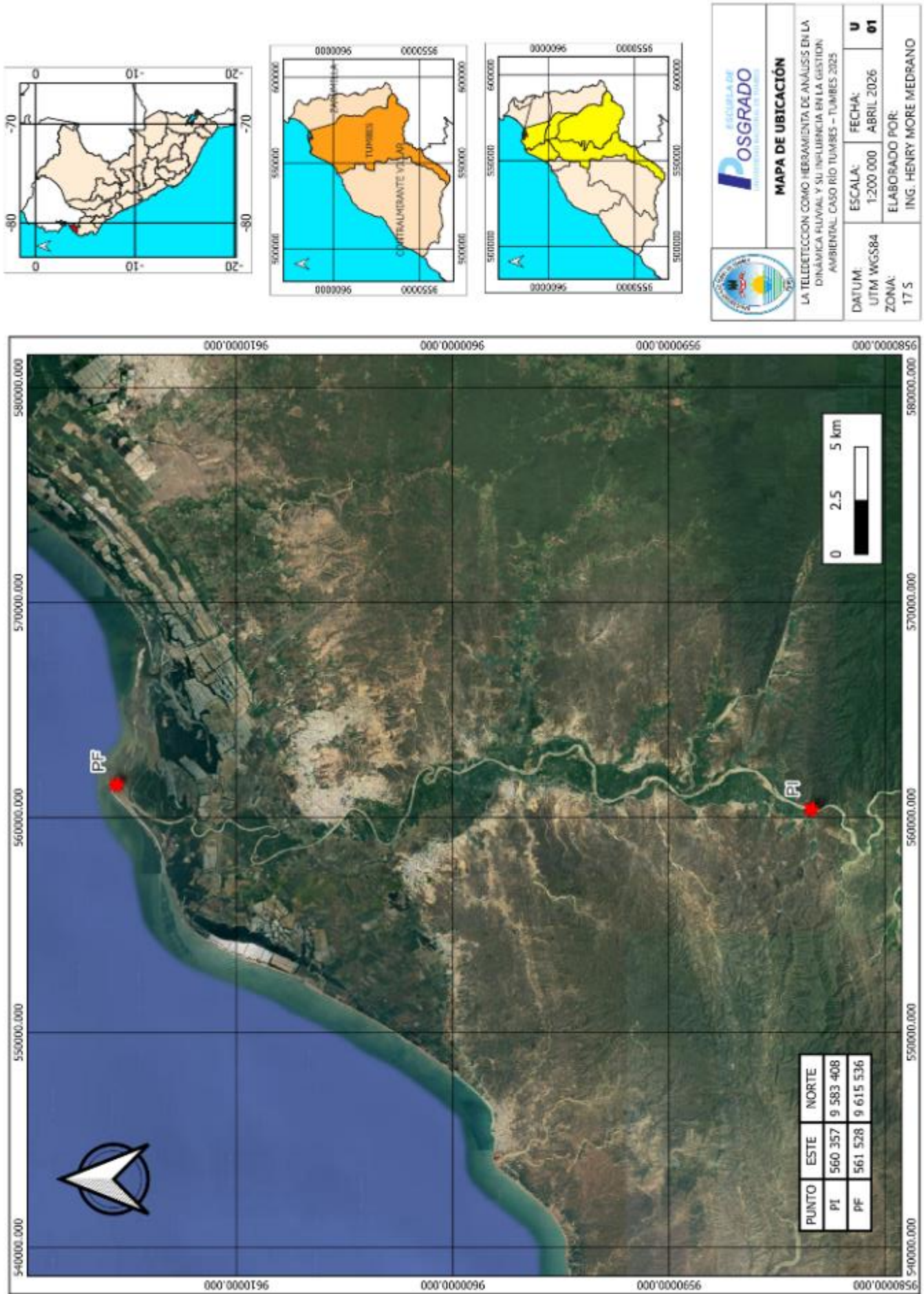


FIGURA 14. Mapa de Ubicación

3.5.3. UBICACIÓN HIDROGRAFICA

El ente rector y máxima autoridad técnico-normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es la Autoridad Nacional del Agua, bajo la cual se despliega la siguiente jerarquía para la zona en la cual se encuentra el Proyecto.

Tabla 5.

Niveles de la Unidad hidrográfica Tumbes

NIVEL 1		NIVEL 2		NIVEL 3		NIVEL 4	
COD	NOMBRE	COD	NOMBRE	COD	NOMBRE	COD	NOMBRE
1	REGIÓN HIDROGRÁFICA DEL PACIFICO	13	UNIDAD HIDROGRÁFICA 13	139	UNIDAD HIDROGRÁFICA 139	1394	UNIDAD HIDROGRÁFICA 1394

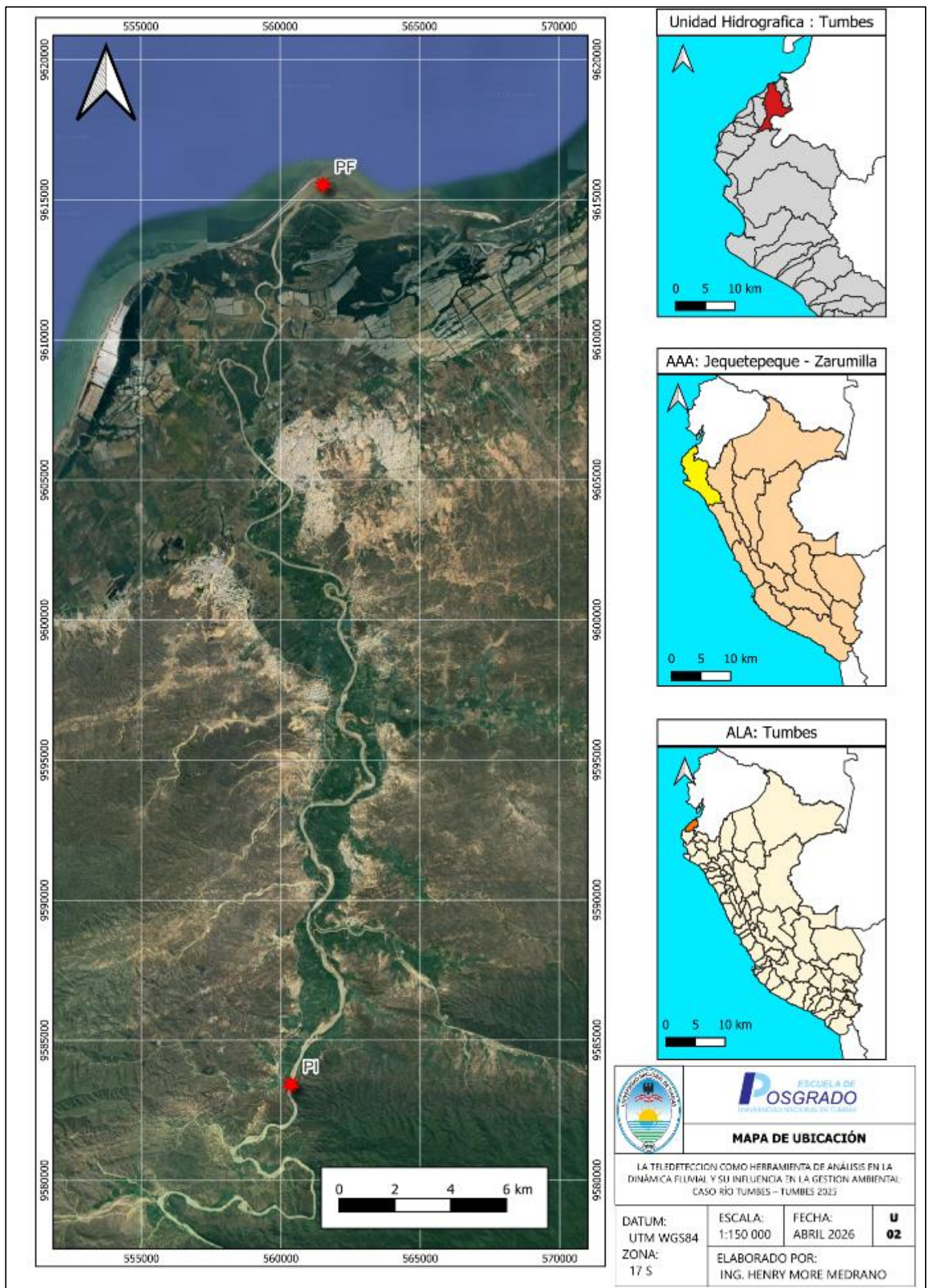


FIGURA 15. Mapa de Ubicación Hidrográfico

3.6. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO

3.6.1. REVISION BIBLIOGRAFICA

En esta fase se ha recopilado información documental de estudios, informes técnicos de entidades e investigaciones que dan a conocer el comportamiento fluvial del río Tumbes.



FIGURA 16. Bibliografía de Revisión

A continuación, en la Tabla 6, se detallan la revisión bibliográfica que ha sido utilizada para la descripción y entendimiento de la zona de estudio.

Tabla 6.

Bibliografía para Información Base.

AÑO	AUTOR	TITULO DEL ESTUDIO
2021	SENAMHI	Mapa de clasificación climática
2023	ANA	El Plan de gestión de cuencas de Recursos Hídricos de la cuenca Tumbes
2007	SENAMHI	Atlas hidrológico de las cuencas Zarumilla y Tumbes ubicadas en la región de Tumbes
2008	ANA	Estudio de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú
2007	Arturo Rocha Felices	El meganiño 1982-83, "la madre de todos los niños", y la rehabilitación de las zonas afectadas
2006	INGEMMET	Estudio Geo ambiental de la cuenca Puyango –Tumbes. Geodinámica e Ingeniería Geológica.

AÑO	AUTOR	TITULO DEL ESTUDIO
2017	Andrés Goyburo Peña	Monitoreo y caracterización del transporte de sedimentos durante crecidas o eventos extremos de El Niño en el río Tumbes
1998	Arturo Rocha Felices	Introducción a la Hidráulica Fluvial
2016	Yuly Mamani Pachari	Geomorfología y evolución del delta del río Tumbes
2008	Segundo Núñez Juárez	Variación del cauce del río Tumbes en el sector higuieron desembocadura: relación con los peligros Hidrometeorológicos
2002	Instituto Nacional de Desarrollo (INADE)	Estudio de prefactibilidad para obras hidrológicas del río Puyango
1992	ANA	Dragado del río Tumbes y limpieza de los cauces de Alivio
2017	Kellyth Johana Chapoñan Estrada	Evaluación comparativa del transporte de sedimentos de fondo en el río Tumbes durante El Niño Costero y La Niña Costera: 2017-2018
2020	Consortio Tumbes	Informe referente al mapeo geológico y geomorfológico de los flancos izquierdo y derecho del río Tumbes

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. DESCRIPCION DE LA CUENCA

3.6.2.1. CLIMA

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - SENAMHI (2020) la región de Tumbes posee 8 tipos de climas, esta variedad corresponde por estar en la zona donde existe la confluencia entre el régimen tropical húmedo ecuatorial y el desértico de la costa peruana, además de verse influenciada por la aparición del Fenómeno El Niño, principalmente por la precipitación.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	36	36	36	35	34	34	33	32	33	34	35	35	36
Temp. máx. media (°C)	31.1	32.6	32.7	31.4	30.4	28.8	27.8	27.2	27.5	28.2	28.9	30.1	29.7
Temp. media (°C)	27.35	28.3	28.4	27.6	26.7	25.3	24.4	23.8	24.1	24.8	25.3	26.5	26
Temp. mín. media (°C)	23.6	24	24	23.8	23.1	21.8	20.9	20.5	20.8	21.3	21.7	22.8	22.4
Temp. mín. abs. (°C)	16	17	15	15	15	15	15	12	13	15	15	16	15
Precipitación total (mm)	59.2	131.4	107.4	72.9	32.6	11.7	6.9	0.3	0.9	1.8	6.9	33.1	464.1
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	8	15	13	8	3	0	0	0	0	0	0	2	49
Humedad relativa (%)	89	80	79	78	77	76	76	76	77	77	77	78	77.8

FIGURA 18. *Parámetros climáticos promedio de Tumbes*

Fuente: SENAMHI

Según El Plan de gestión de cuencas de Recursos Hídricos de la cuenca Tumbes, la región de Tumbes destaca por ser la más cálida de la costa del Perú, presentando un comportamiento térmico casi constante a lo largo del año. Según la planificación de recursos hídricos de la cuenca, las temperaturas fluctúan entre los 23°C y 30°C, con picos de calor en el primer cuatrimestre del año. Esta varianza térmica mínima (menor a 5°C) define un régimen isotermal que resulta estratégico para el aprovechamiento agropecuario ininterrumpido en el área de influencia del río.

La humedad relativa promedio anual en las cuencas Puyango–Tumbes y Zarumilla se sitúa entre 72 % y 82 %. La velocidad del viento presenta variaciones que van desde 2.5 hasta 5.5 m/s. Las horas de sol oscilan entre 176 y 192 horas al año. En cuanto a la evapotranspiración de referencia, esta fluctúa entre 145 y 165 mm/mes en el periodo de diciembre a mayo, mientras que entre mayo y diciembre desciende a valores de 105 a 125 mm/mes. Por su parte, el coeficiente de cultivo se encuentra entre 0.77 y 0.88 de enero a abril, entre 0.82 y 0.92 de mayo a agosto, y entre 0.76 y 0.92 de septiembre a diciembre (SENAMHI, 2007)

3.6.2.2. HIDROLOGIA

Para la caracterización hidrológica se considera el área que abarca al tramo en estudio, en este caso le corresponde a la Unidad Hidrográfica de la cuenca Tumbes, cuya extensión superficial es de 1,806.00 km² en territorio peruano, según el "Estudio de Delimitación y Codificación de las Unidades Hidrográficas del Perú", aprobado con Resolución Ministerial N° 033-2008-AG.

Los meses de mayor precipitación ocurren de enero a marzo con valores de lluvia próximos a los 480 mm en la parte alta, 305 mm en la parte media y 56 mm en la parte baja. Los meses con menor precipitación registrada son julio y agosto con 7

mm en la parte alta y media de la cuenca, y con 0,6 mm en la parte baja de la misma. (Plan de gestión de recursos hídricos de cuenca Tumbes, 2023)

La intensidad de la precipitación suele ser mayor cuando existe la aparición del Fenómeno El Niño oscilación del sur de fase cálida, tal cual lo demuestran los eventos de 1982-83 y 1997-98, donde ocurrieron lluvias extraordinarias, llegando a provocar que el caudal medio anual del río Tumbes presente un cercano al 500 y 300% más del promedio, además de haberse registrado el día 8 de febrero del 1198 un valor de 235 mm acumulados, el cual superó ampliamente a lo registrado en todo un mes de un año normal.

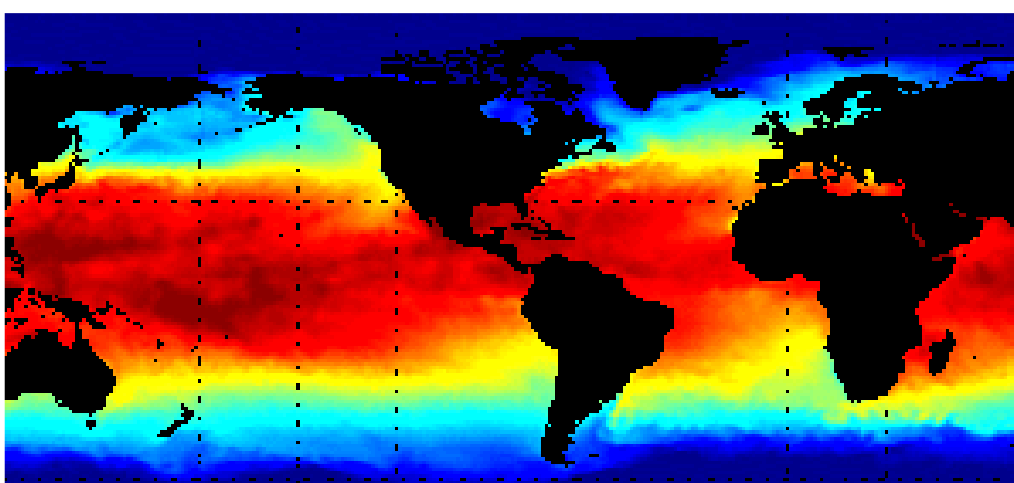


FIGURA 19. Aumento de Temperatura del Mar durante FEN 83

Fuente: Rocha (2007)

En Tumbes, específicamente en la estación Puerto Pizarro, la precipitación total registrada en 1983 alcanzó los 3174 mm, cifra equivalente a la acumulada durante los 19 años anteriores, dentro de una serie histórica cuyo valor mínimo anual fue de 3 mm. Asimismo, en solo un mes, abril de 1983, se registró una cantidad de lluvia igual a la suma total de los seis años previos.

En la estación El Tigre, se registraron en 1983 precipitaciones de 3000 mm, lo que equivale a doce veces el promedio histórico. Antes de ese año, el mayor registro anual correspondía a 1972 con 562 mm, mientras que el mínimo era de 0 mm. De igual forma, en 1983 la estación Rica Playa, también en Tumbes y con un mínimo histórico de 0 mm, alcanzó una precipitación de 5466 mm. Rocha (2007)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
64	2,00	48,00	76,10	90,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	218,90
65	37,00	37,50	358,40	66,10	114,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	621,00
66	52,00	24,00	41,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,50	0,00	0,00	122,00
67	73,50	112,00	0,00	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,00	0,00	1,00	211,50
68	1,50	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00*
69	11,50	6,50	117,50	107,50	27,80	28,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50	306,50
70	22,00	72,00	23,50	7,00	20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	7,00	153,50
71	11,00	76,00	126,30	8,90	0,00	1,50	1,00	1,00	0,50	0,50	0,00	2,00	228,70
72	20,50	79,50	341,30	27,80	25,90	30,00	2,50	7,00	0,00	0,00	0,00	12,00	546,50
73	419,50	66,00	101,70	0,00	14,50	1,00	2,10	0,00	2,70	0,00	0,00	4,80	612,30
74	1,90	20,60	5,50	0,50	27,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,70
75	36,90	33,80	155,40	74,40	4,40	4,80	6,50	11,60	5,10	5,80	5,50	0,00	344,00
76	36,90	143,90	119,60	41,20	28,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	370,20
77	50,20	124,10	110,40	61,60	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	0,00	354,30
78	15,90	22,10	75,40	9,20	7,40	0,00	0,00	0,00	6,50	0,00	0,00	18,20	154,70
79	44,70	21,30	50,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,70
80	78,90	0,00	55,00	148,50	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,50	31,80	330,70
81	0,00	62,50	64,50	47,50	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	176,10
82	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	-2,00	0,00
83	897,80	801,60	692,30	1165,50	1426,20	303,90	65,20	56,30	18,90	0,00	10,60	25,30	5465,70*
84	0,00	382,20	18,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	408,60
85	13,20	47,60	139,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,80	0,00	0,00	201,10
86	0,00	51,60	0,00	99,40	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	153,60
MEDIA	83,04	101,49	121,57	89,67	77,68	18,91	3,51	3,47	1,90	0,94	1,31	5,53	507,01

FIGURA 20. Precipitaciones medias mensuales entre 1964-1986 en la Estación Rica Playa

Fuente: Rocha (2007)

En 1998 se constituyó el cuarto y último Meganiño del siglo XX, la ciudad de Tumbes se inundó por no tener un sistema de drenaje ante el exceso de lluvia, a lo que adicióno el desborde fluvial en ciertos lugares. Es durante este Fenómeno de El Niño 1997-1998 que el río vario nuevamente su recorrido con la aparición de otro cauce.



FIGURA 21. Desborde del río Tumbes 1998

En 2017 ocurrió El fenómeno El Niño costero, fenómeno climático de categoría extrema debido a las intensas lluvias y desbordes de ríos. Este fenómeno se debió a un aumento inusual de la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico cerca de la costa peruana, lo que incrementó la humedad atmosférica y generó precipitaciones fuera de lo común.



FIGURA 22. Lluvias Intensas FEN costero 2017

Fuente: RPP Noticias

Se debe tener en cuenta que cada evento El Niño es diferente y presenta sus propias particularidades, siendo importante tener conocimiento de esta “diversidad” y el monitoreo de las condiciones océano atmosféricas en el Pacífico oriental que la intensifican.

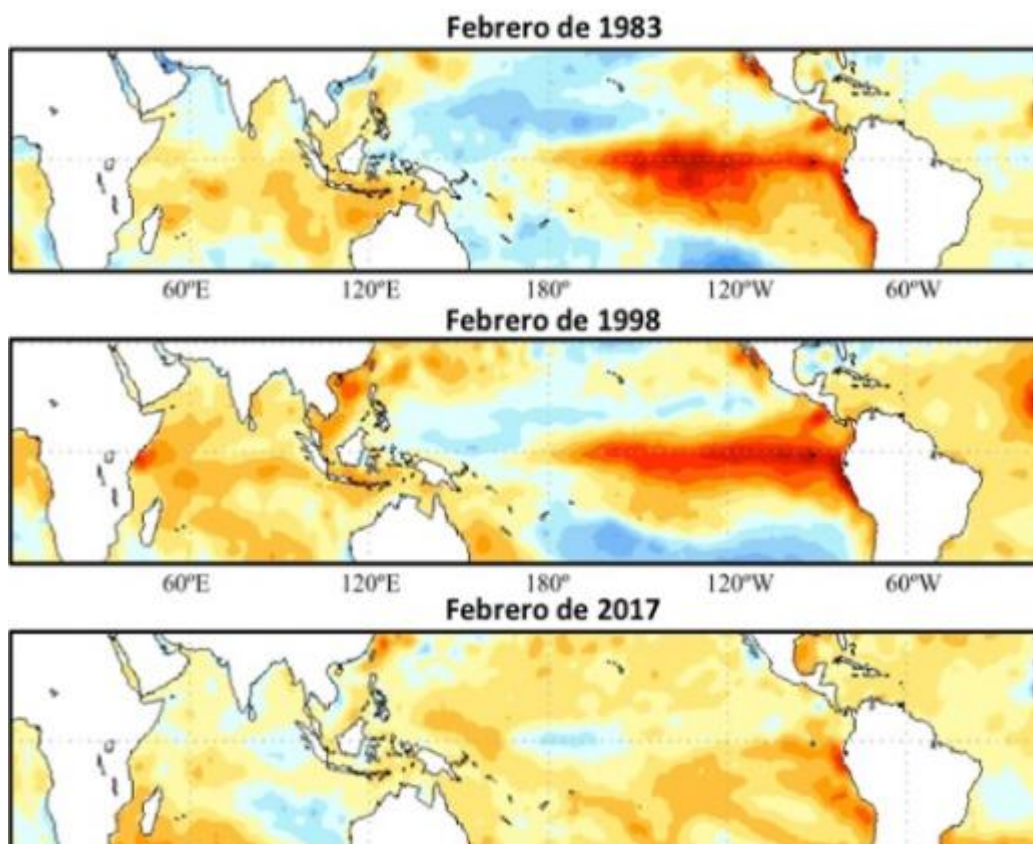


FIGURA 23. Anomalía de TSM – febrero 1983,1998 y 2017

Fuente: NOAA

Entre junio de 2023 y marzo de 2024 se desarrolló el fenómeno de El Niño Costero, considerado el más intenso de las últimas dos décadas, mientras que el El Niño Global se posicionó entre los cinco más fuertes desde 1950. En el Perú, este evento se manifestó con condiciones excepcionalmente cálidas y lluviosas en la franja costera. Asimismo, se registró el invierno más cálido de los últimos sesenta años, acompañado por la presencia del ciclón Yaku, que generó intensas precipitaciones en la vertiente occidental de la cordillera, especialmente en la costa norte y central.

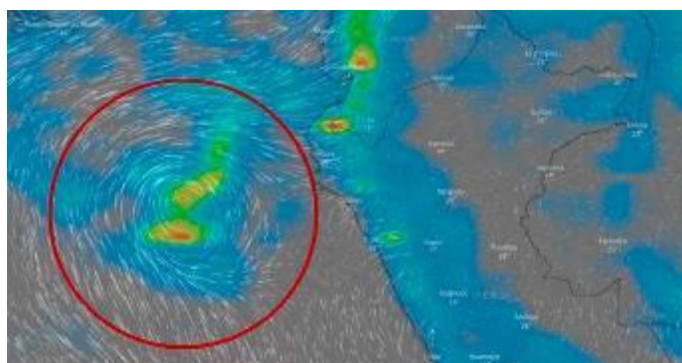


FIGURA 24. Formación del ciclón Yaku 2023

En Tumbes, el ciclón Yaku intensificó las lluvias, provocando precipitaciones torrenciales que superaron los registros históricos. Estas lluvias extremas ocasionaron inundaciones en diversas zonas, afectando calles y viviendas, y generando desbordes de ríos y activación de quebradas. Es así como se registró en la estación Puerto Pizarro 225.1mm de lluvia acumulada en 24 horas, lo cual supero el récord histórico de dicha estación del año 2017 con 192.8 mm



FIGURA 25. Récord de Precipitación diaria acumulada – Estación Pizarro

Fuente: SENAMHI

El año 2024 fue el más cálido desde que se tienen registros, con una temperatura media global 1,28 °C por encima del promedio del período de referencia de la NASA (1951-1980). El fenómeno de El Niño comenzó a debilitarse en marzo de 2024, pero sus efectos persistieron durante varios meses. En junio de 2024, se declaró oficialmente su finalización.

En el año 2025, se presentaron lluvias de temporada en la región de Tumbes, afectando varios sectores, provocando la activación de quebradas y el desborde de los ríos Tumbes y Zarumilla. Precisamente el aumento del caudal del río Tumbes se dio por las lluvias intensas originadas en la parte alta de la cuenca en territorio ecuatoriano.

En la parte urbana de Tumbes se produjo inundación pluvial afectando viviendas, colegios y a otros tipos de infraestructura, llegando incluso a restringirse los servicios de agua potable y electricidad.



FIGURA 26. *Inundación Pluvial (2025) en el Instituto Pedagógico*

3.6.2.3. HIDROMETRÍA

Respecto a los caudales del río Tumbes, se tiene a la estación hidrométrica El Tigre localizada en la parte del valle más estrecho de la zona media de la cuenca, cuya característica principal en su registro es de tener menores caudales en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre, mientras que en los meses de diciembre a abril se presentan los mayores valores del año.

Tabla 7.**Registro de caudales máximos en la Estación el Tigre 1963-2025**

Año	Q (m3/s)	Año	Q (m3/s)
1963	553	1995	534
1964	537	1996	690
1965	965	1997	s/d
1966	534	1998	2570
1967	695	1999	2506
1968	325	2000	1238
1969	1100	2001	2756
1970	470	2002	2646.6
1971	1722	2003	681.39
1972	1929	2004	602
1973	1442	2005	1012.79
1974	455	2006	1583.31
1975	2074	2007	696.61
1976	772	2008	1800
1977	723	2009	1957.24
1978	519	2010	1995
1979	690	2011	1292.4
1980	628	2012	2616.7
1981	1579	2013	759.9
1982	1429	2014	989.6
1983	3713	2015	1887.7
1984	1628	2016	1598.7
1985	398	2017	1317.7
1986	1397	2018	613.3
1987	2099	2019	1472.3
1988	652	2020	671.4
1989	1829	2021	1385
1990	513	2022	1068.09
1991	585	2023	1845.77
1992	2490	2024	1198.7
1993	1918	2025	2133.2

Fuente: Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes

Según registros de la estación El Tigre en el sistema Puyango-Tumbes, el comportamiento hídrico presenta una marcada estacionalidad. El caudal medio se sitúa en 114.0 m³/s, con oscilaciones máximas mensuales de 336.3 m³/s en el mes de marzo y un mínimo mensual de 19.6 m³/s en el mes de octubre. El flujo promedio durante el período de avenidas entre enero y abril es de 245.1 m³/s (INGEMMET, 2006).

El SENAMHI ha implementado la Plataforma Hidrológica de Información Sistematizada e Integrada (PHISIS) con el objetivo de brindar información dinámica ante eventos hidrológicos extremos. Esta herramienta se basa en datos provenientes de las estaciones hidrológicas de monitoreo sistemático, incluyendo los umbrales de inundación registrados en las estaciones disponibles.



FIGURA 27. Registro de caudal horario (m³/s) del día 01/03/2025

3.6.2.4. GEOMORFOLOGIA Y DINAMICA FLUVIAL

El río es un modelador del paisaje, entre sus procesos (erosión y sedimentación) modifica de alguna forma el trazado y la forma de la fuente de agua, tanto en su componente temporal y/o espacial durante su evolución.

Durante la temporada de lluvias asociada al FEN, el río Tumbes transporta una gran cantidad de sedimentos. Al finalizar este periodo, su capacidad de arrastre disminuye, lo que favorece la deposición de los sólidos en suspensión y puede generar cambios en el cauce. Cuando las cargas son muy elevadas, los canales activos suelen resultar insuficientes para contener dichos volúmenes, provocando el ensanchamiento del cauce por efectos de la erosión. En otros casos, el flujo tiende a desviarse hacia cauces nuevos o previamente existentes

Rocha, A. (1998), indica que en el río Tumbes se pueden distinguir dos tramos, teniendo como punto en común la estación el Tigre, un tramo es aguas arriba de la estación el tigre y el segundo tramo desde dicha estación hasta la desembocadura con el océano Pacífico.

Respecto al primer tramo menciona que el cauce presenta una morfología propia de un estado joven, caracterizada por un régimen torrencial y un trazado de formas irregulares. Debido a las pronunciadas pendientes y a su condición encajonada, la energía hidráulica es elevada. No obstante, la pérdida de cobertura vegetal en las laderas ha intensificado la erosión, provocando un incremento sustancial en la carga de sedimentos y sólidos que ingresan al sistema fluvial.

Con referencia al segundo tramo indica que el río tiende de manera natural a meandrizarse, presentando movimientos laterales y longitudinales que producen la aparición y desaparición de curvas por erosión en la zona cóncava y acumulación de sedimentos en la convexa.

Además, Rocha, A. (1998), analiza la inestabilidad fluvial del Río Tumbes, en base a lo ocurrido durante el Fenómeno de El Niño 1983 donde existió una variación en la morfología meandro que se situaba próximo a la ciudad, el cual se movilizó hacia el Oeste, acercándose peligrosamente a la carretera Panamericana la cual actuó como un dique precario.

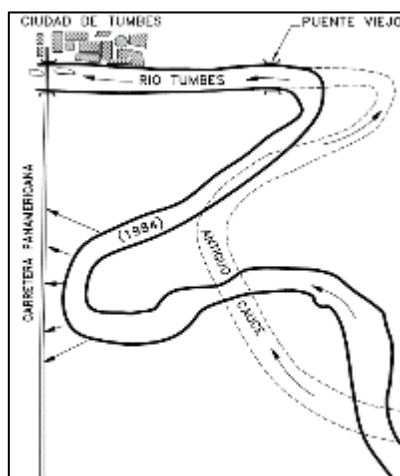


FIGURA 28. Variación del cauce del Río Tumbes en 1984

Fuente: Rocha, A. (1998)

Por su parte Mamani (2016) dice que el río descarga sus aguas a través de tres bocas principales y varios canales; en los últimos años se ha evidenciado la migración del curso principal hacia el norte, localizándose en lo que actualmente se conoce como Punta Mal Pelo

Núñez (2008) hace referencia de que el río Tumbes no sigue un patrón de comportamiento definido poniendo como ejemplo cuando en la zona sur de la

ciudad, el río se ubicaba en 1986 a 78 m de referencia y, para el año 2000, a 1 479 m, evidenciando un desplazamiento cercano a 1 400 m. Asimismo, en 1961 y 1976 el cauce se encontraba a distancias de 349 m y 435 m, respectivamente.

De acuerdo con el Estudio de Factibilidad del Proyecto Binacional Puyango–Tumbes, la cuenca presenta procesos erosivos que varían entre moderados y severos. Estas condiciones se intensifican durante periodos de inundación y en la ocurrencia de eventos asociados a El Niño. La causa principal radica en la pérdida de cobertura vegetal, sumada a la acción de agentes naturales como la lluvia, la sequía y el viento sobre el suelo expuesto. Esta situación influye de manera importante en la red hidrológica, generando inundaciones debido a la obstrucción de los cauces. (INADE, 2002).

Según registros de la Autoridad Nacional del Agua (1992), la estación El Tigre alcanzó su nivel máximo de transporte de sólidos en 1979, registrando 3.77 millones de toneladas anuales, cifra equivalente a un volumen de 3.0 millones de metros cúbicos (MMC/año). Al integrar el aporte por arrastre de fondo, estimado en un 30% adicional (0.9 MMC/año), se determinó que la carga total de sedimentos movilizados por el sistema fluvial ascendió a 3.9 MMC/año.

Goyburo (2017) durante su campaña de muestreo (12/2015 – 05/2016), el transporte de sedimento total (Qst) en la estación El Tigre fue de 2.79 millones de toneladas, de los cuales el 99 por ciento se transporta en suspensión (2.78 millones de toneladas) y 1 por ciento de fondo (0.015 millones de toneladas). Demostrando un incremento de hasta 3 veces más el Qst con respecto al estimado durante el 2014, esto debido a la presencia del Fenómeno El Niño.

En el trayecto final del cauce del Río Tumbes, al desembocar hacia el Océano Pacífico, genera la deposición de los sedimentos transportados a lo largo de su trayecto, hacia el Delta del Río Tumbes, formando progresivamente el delta, que constantemente se encuentra sometido a cambio en su morfología, debido a que son retrabajadas constantemente por la acción del oleaje y las corrientes costeras, que actúan a lo largo de la faja litoral de la cuenca.

El delta del río Tumbes constituye el único sistema deltaico del territorio peruano; en su desembocadura se originan diversas geoformas que se encuentran influenciadas por la dinámica costera. (Ref: Yuly Mamani Pachari. XVIII Congreso

Peruano de Geología – 2016:” Geomorfología y Evolución del Delta del río Tumbes”).

Este sistema en el sector norte ha ido evolucionado y en la desembocadura del río se han formado barras de arena longitudinales, estas variaciones pronunciadas, se relacionan con crecidas extraordinarias como las del El Niño. Las variaciones llegan cerca de Puerto Pizarro. Se muestra en imágenes satelitales:

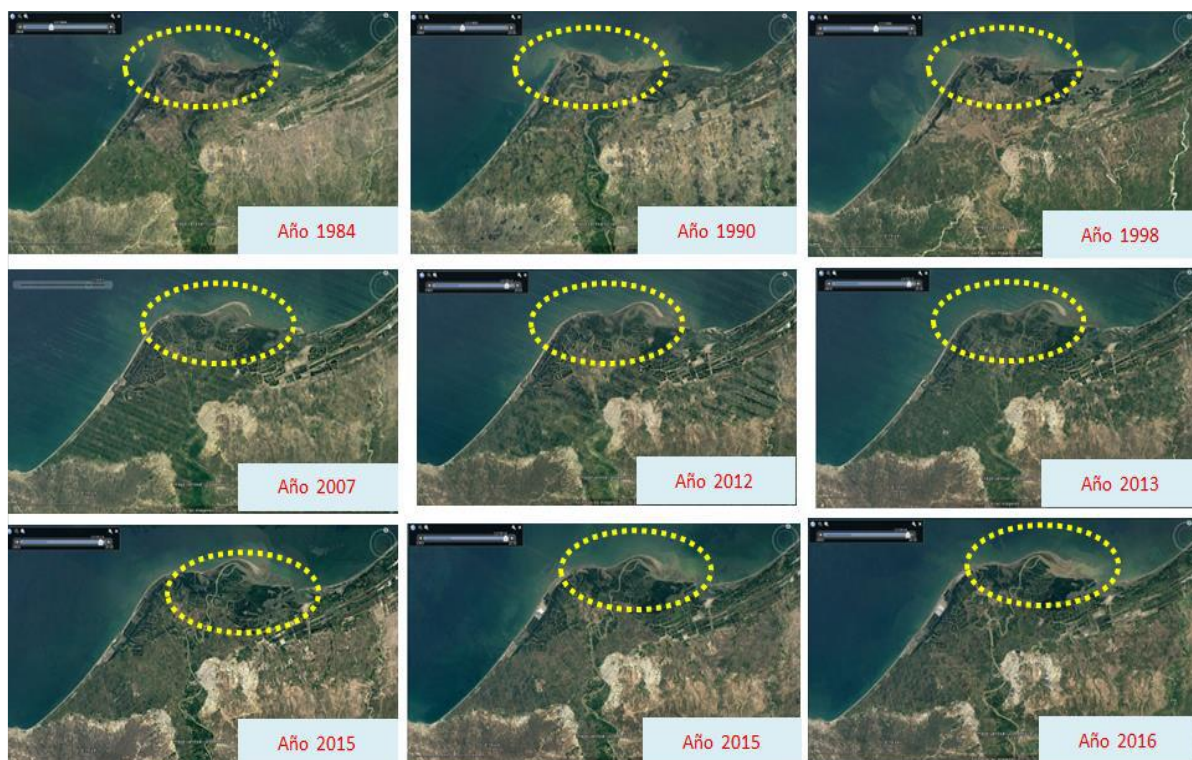


FIGURA 29. Variación del delta del Río Tumbes en 1984

Fuente: Consorcio Tumbes (2020)

3.6.2.5. GEOLOGIA

Chapoñan (2017) Desde Higuerón hasta la zona urbana de la ciudad de Tumbes la geología consta de rocas sedimentarias de fácil erosión. La zona aluvial que comprende parte de la ciudad de Tumbes y Corrales tiene un ancho de hasta 3.5 km.

Según el Informe geológico y geomorfológico de los flancos izquierdo y derecho del río tumbes, el marco Geológico Regional de la cuenca del río Tumbes está constituido por las siguientes formaciones.

- ✓ Grupo Higuierón Indiviso: ubicado en la parte central del río Tumbes, en la zona de Higuierón, en la margen derecha, entre las coordenadas 560306 E, 9583358N, con una altitud de 27 m, se pueden apreciar afloramientos de rocas graníticas y rocas pegmatíticas sin alteración al borde del Río Tumbes y en zonas más alejadas levemente meteorizadas



FIGURA 30. Afloramientos de rocas graníticas (Pi-gr), 560306 E, 9583358N, margen izquierda del Río Tumbes

Fuente: Consorcio Tumbes (2020)

- ✓ Formación Heath (To-h): esta formación está compuesta por una serie de lutitas abigarradas y areniscas parduscas; en la zona de Los Amotapes, está compuesta por lutitas gris verdosas con nódulos calcáreos, presenta intercalaciones de bancos de 0.30 cm de sedimentos coquiníferos, de forma continua se encuentran lutitas cuarzosas de grano grueso en una matriz arcillosa intercaladas con lutitas verdes que meteorizan a ocre



FIGURA 31. Formación Heath, conformada por lutitas abigarradas y areniscas, vista desde coordenadas 559831E, 9583878N

Fuente: Consorcio Tumbes (2020)

- ✓ Formación Zorritos: Se presenta en el sector del mismo nombre (Margen izquierda del río Tumbes) y se expande al Nor-este, entre las fallas Colorado y Tronco Mocho abarcando el valle del río Tumbes. Peterson (1936), la dividió en tres miembros:

El inferior. – Conformada por lutitas de tonalidades marrón-grisáceas y carácter carbonoso, las cuales presentan intercalaciones de niveles pelíticos que varían de gris a verdoso, ocasionalmente con lentes de areniscas cuarzosas, de grano medio, con estratificación cruzada.

Medio. - Está formado por horizontes de areniscas de grano fino y en partes conglomerados finos inter-estratificadas con lutitas grises a verde olivo ó capas carbonosas, piritosas y ocasionalmente lutitas rojas.

Superior. - Contiene areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, con lutitas bentoníticas de color verde claro y lutitas carbonosas con escasa pirita.



FIGURA 32. Afloramientos de la formación Zorritos, coordenadas 560 066E, 9 587 086N

Fuente: Consorcio Tumbes (2020)

- ✓ Formación Cardalitos: Petersen (1936), lo describe de la siguiente manera: Base constituidas por areniscas tobáceas y feldespáticas e intercaladas con areniscas cuarzosas e intercalaciones de conglomerados, más o menos duras en capas de 0.25 a 1m. de espesor. En el valle del río Tumbes, en el caserío de Vaquería (margen izquierda) y en Pampas de Hospital (margen derecha), la secuencia geológica está conformada por lutitas arcillosas, intercaladas con algunos niveles de areniscas tobáceas y areniscas de grano medio con cemento calcáreo de tonalidad ocre.



FIGURA 33. Fm. Cardalitos, constituido por Lutitas abigarradas con niveles de areniscas, coordenadas 559812E, 9585715N

Fuente: Consorcio Tumbes (2020)

- ✓ Formación Tumbes (Tm-t): Conformada por una serie de areniscas de grano fino a grueso, cuarzosas, intercaladas con capas delgadas de lutitas bentónicas, de coloraciones verdes hasta amarillas y rojizas por alteración. A lo largo del río Tumbes, en superficie, existe una consecución de conglomerados, areniscas de grano grueso e intercalaciones de lutitas y tobas.



FIGURA 34. Depósitos de la formación Tumbes 560179 E, 9585362N

Fuente: Consorcio Tumbes (2020)

Entre los principales peligros geológicos de la zona de estudio por su naturaleza fluvial, encontramos las inundaciones debido a lluvias intensas en la temporada lluviosa o fenómenos climáticos como El Niño, además de la erosión fluvial y la tendencia del río Tumbes a cambiar su cauce, especialmente en sectores con fuerte pendiente o deforestación, afectando cultivos e infraestructura.

Además de las fallas geológicas siendo las principales: Falla Los Amotapes, Falla Tronco Mocho, Falla Bellavista; y las fallas de orientación E-W son: Falla Colorado, Falla Tacural-Algarrobal, Falla Falcones Falla Angostura, etc. Las cuales se detallan a continuación en el siguiente mapa.

3.6.3. IDENTIFICACION PRELIMINAR

Para la investigación se ha creído conveniente dividir la longitud de estudio del río Tumbes, en 4 tramos o zonas, para una mejor representación y análisis de la dinámica fluvial, tal como se muestra a continuación.

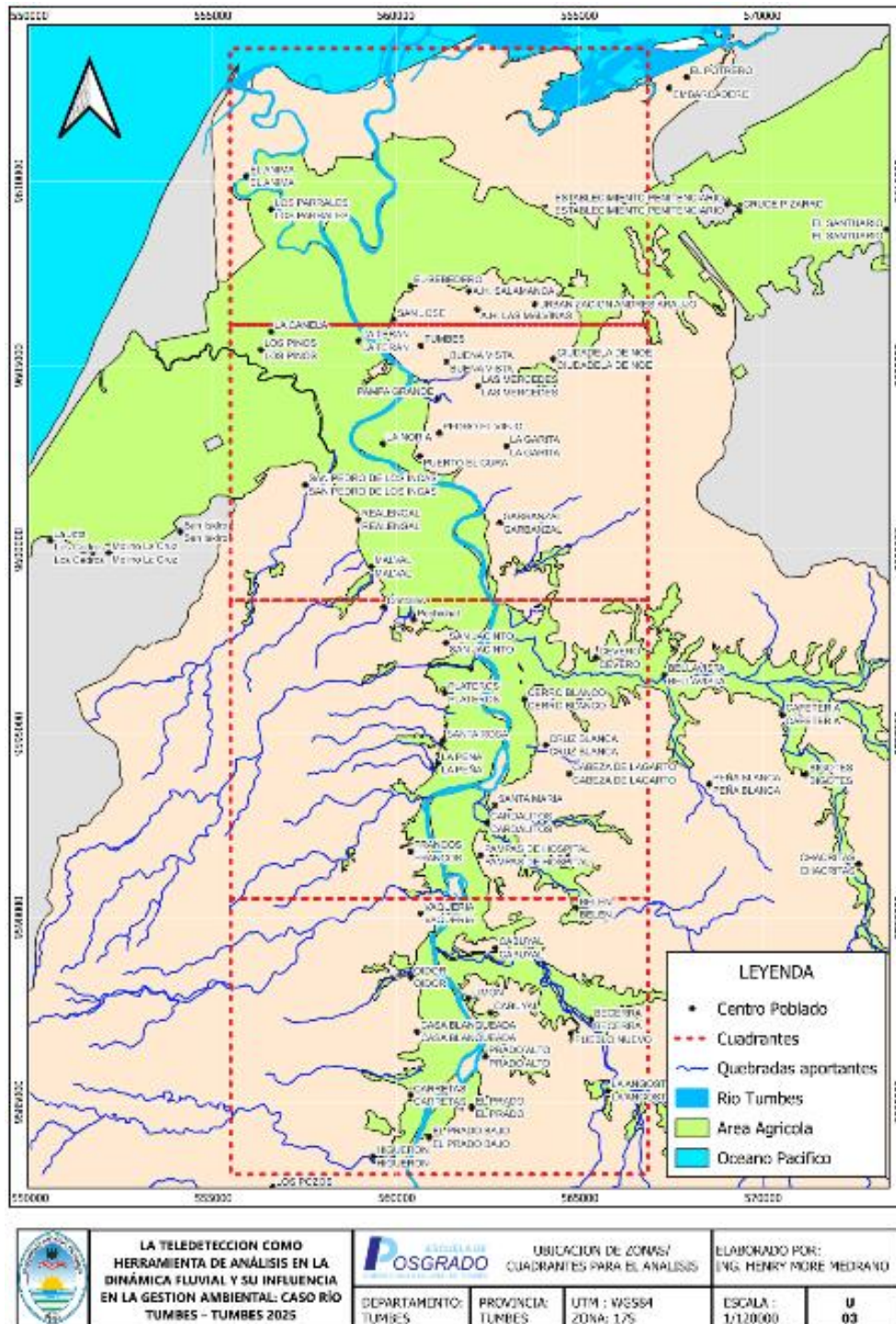


FIGURA 36. Mapa de zonificación de cuadrantes para el Análisis Multitemporal

En esta fase se ha utilizado la plataforma Google earth para identificar mediante la función "timelapse" los años donde han ocurrido las variaciones más importantes.

Para el caso del tramo en estudio se ha podido visualizar que la plataforma cuenta con información de los años 1969, y el periodo 1984-2023, del cual se ha realizado el siguiente análisis.

3.6.3.1. Cuadrante N°1

Esta zona corresponde a la parte media de la cuenca del Rio Tumbes, abarca desde higuierón hasta la desembocadura de la quebrada vaquería en la margen izquierda, dicho tramo se caracteriza porque al inicio de este se encuentra una formación de valle en V, para luego darle paso a las planicies características del rio tumbes donde se desarrolla la actividad agrícola.



FIGURA 37. Relieve en el sector Higuierón

Fuente: Google Earth

En la imagen del año 1969 se puede apreciar la existencia de varios “brazos” del río, en el sector Casablanca, uno de los cuales se mantiene activo como el cauce principal en la actualidad, mientras que el otro paleocauce se suele activar en máximas avenidas cumpliendo la función de aliviadero.

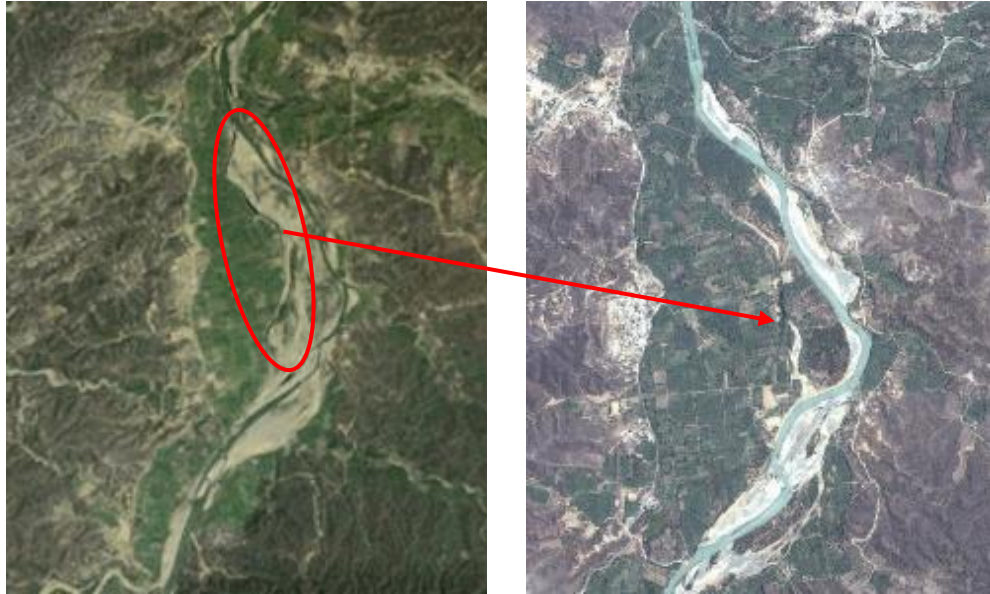


FIGURA 38. Imagen de 1969 (izquierda) con varios “brazos” , Imagen del 2013 (derecha) un solo cauce

Fuente: Google Earth

También se aprecia movimientos laterales del río Tumbes, se ha detectado con imágenes del año 2006 y 2011, una profundización en la curvatura del meandro en la margen izquierda.



FIGURA 39. Movimiento lateral del cauce hacia la margen izquierda, imagen del 2006 (izquierda) y 2011 (derecha)

Fuente: Google Earth

Posteriormente se evidencia una intervención antrópica de encauzamiento en el año 2013, el cual no obtuvo los resultados deseados, además se aprecia la formación de islas en el cauce y la presencia de una obra de protección en la margen derecha.



FIGURA 40. Imagen del 2013 (izquierda) se aprecia encauzamiento – Imagen del 2016 (derecha) se aprecia islas en el cauce

Fuente: Google Earth

En dicho tramo de análisis también se encuentra la captación de la irrigación del canal Ruston La Inverna, en la que las imágenes de los años 2005 y 2012 indican un desplazamiento gradual del cauce hacia la margen izquierda.



FIGURA 41. Movimiento lateral del cauce hacia la margen izquierda, imagen del 2005 (izquierda) y 2012 (derecha)

Fuente: Google Earth

El desplazamiento del Río hacia su margen izquierda, ha generado que se realice un encauzamiento para lograr captar el recurso hídrico en la caseta de riego, sin embargo, ante la presencia de eventos extraordinarios la capacidad hidráulica del río es superada afectando la estructura de captación y el canal de Ruston la Inverna.



FIGURA 42. Direccionamiento del flujo 2016 (izquierda) y desborde del Río Tumbes por FEN 2017 (derecha)

Fuente: Google Earth

Frente a la captación de agua potable del caserío de Vaquería, en la margen derecha del río Tumbes se evidencia a partir del año 2013 la construcción de una defensa ribereña.



FIGURA 43. Emplazamiento de Infraestructura de protección (2013)

Fuente: Google Earth

En el año 2017 y 2023 ante la ocurrencia del Fenómeno el Niño Costero y ciclón Yaku, se pudo apreciar el funcionamiento de dichas defensas, observándose también que en zonas donde no existe protección se generó el desborde del río.



FIGURA 44. Comportamiento de la Infraestructura de protección ante eventos extremos: Imagen superior (Fenómeno el Niño 2017) e imagen Inferior (Ciclón Yaku 2023)

Fuente: Google Earth

3.6.3.2. Cuadrante N°2

Este cuadrante inicia desde la desembocadura de la quebrada Vaquería hasta la caseta de bombeo de la comisión brujas altas del distrito de San Juan de la Virgen. Entre las imágenes del año 1969 y 1985, se visualiza la sinuosidad del cauce, la

misma que ha generado una importante extensión agrícola desde el centro Poblado de Santa María hasta Pampas de Hospital.



FIGURA 45. Sinuosidad del cauce evidenciada entre los años 1969 (Izquierda) – 1985 (derecha)

Fuente: Google Earth

Se evidencia que, en la desembocadura de la quebrada vaquería, el cauce del Rio Tumbes se ha desplazado hacia su margen derecha, debido a la actividad agrícola del lugar. Sin embargo, ante eventos máximos como el del 2017, el Rio Tumbes se acerca nuevamente a la desembocadura de dicha quebrada.



FIGURA 46. Desplazamiento lateral del cauce respecto a la desembocadura de la quebrada vaquería 1985 (izquierda), 2011 (centro) y 2017 (derecha)

Fuente: Google Earth

Entre los sectores de Cruz Blanca, Cerro Blanco (Margen derecha) y San Jacinto (Margen Izquierda), el rio ha mostrado una gran variación de su eje principal mediante la evolución de meandros. Además, en este mismo sector se encuentra el inicio del dren “el Correntoso”, el cual es un aliviadero natural cuando el flujo de agua del cauce principal supera su capacidad hidráulica máxima, sin embargo, se ha visto afectado por una reciente intervención en el sector “Tamarindo”



FIGURA 47: Evolución de meandro en cuadrante N°2 del cauce del río Tumbes
Imagen superior 1969(izquierda), 1985(centro) y 2011 (derecha)
Imagen Inferior 2019(izquierda), 2022(centro) y 2024(derecha)

Fuente: Google Earth

3.6.3.3. Cuadrante N°3

Este cuadrante en análisis abarca la parte baja del Río Tumbes, desde el sector de Tacural hasta el Canal la Tuna Romero (Margen derecha), en su recorrido bordea al casco urbano de la ciudad de Tumbes y atraviesa el puente principal de la ciudad.

La variación más notoria se da entre los sectores de Malval (margen derecha) y Garbanzal (margen izquierda) donde la meandrización del río a través del tiempo ha ido formando un “cuello” el mismo que ha desplazado a las áreas agrícolas que existían en dicho sector e incluso rompiendo el dique que existía en la margen izquierda.



FIGURA 48: Evolución de meandro en cuadrante N°3 del cauce del río Tumbes
Parte superior: 2011 (izquierda) y 2017 (derecha); parte inferior 2019 (izquierda)
y 2023 (derecha)

Fuente: Google Earth

En el año 1985 el río Tumbes muestra un trazo distinto al actual, caracterizándose por curvaturas en su recorrido, formando una curva “tangente” con la carretera Panamericana.



FIGURA 49. Sinuosidad del cauce aguas arriba del Puente Tumbes -1985

Fuente: Google Earth

Así mismo se evidencia que el cauce del río Tumbes, antes de bordear a la ciudad de Tumbes se caracterizaba por formar un trenzado alrededor de una isla en el centro. La misma que años después desapareció para dar paso a un solo cauce que hasta la actualidad se mantiene.



FIGURA 50. Cauce de río Tumbes con Forma trenzada 2007 (izquierda) y recta 2013 (derecha)

Fuente: Google Earth

3.6.3.4. Cuadrante N°4

El cuadrante N° 4 corresponde a la parte final del recorrido del Río Tumbes, el mismo que desemboca en el mar, desarrollando diversas geoformas que son

afectadas por la dinámica costera y la influencia de las mareas, lo cual conlleva a que el río se comporte de forma sinuosa. Así lo evidencia la siguiente imagen.



FIGURA 51. Sinuosidad del cauce aguas abajo del Puente Tumbes -1985

Fuente: Google Earth

A lo largo de los años se denota que el flujo del Río ha tenido varias salidas, pero predominando aquella que se dirige a Punta Melo, pero teniendo otros recorridos como aliviaderos. La configuración de meandros ha ido evolucionando, como se contrasta en las siguientes imágenes.



FIGURA 52. Sinuosidad del cauce en el final del cauce del Río Tumbes 2011(izquierda), 2015(derecha) y 2019(izquierda)

Fuente: Google Earth

3.6.4. INSPECCION DE CAMPO

El río Tumbes al ser un río aluvial, durante los eventos de máximas avenidas transporta gran cantidad de material. En consecuencia, su cauce es dinámico con el paso del tiempo en función de los diferentes caudales líquidos y sólidos que se presentan.

En realidad, cada tramo fluvial, tiene una forma característica, por lo que se han realizado visitas in situ desde el año 2020, que permitan conocer la morfología y material que predomina en estas partes, así como también las estructuras hidráulicas que están presentes en el recorrido.

En el sector Higuerón, parte inicial de esta investigación, el cauce denota acumulación de sedimentos de grano grueso resultado de fluctuaciones estacionales del río, además de colinas en el fondo de pendiente moderada, con vegetación dispersa. Aquí se encuentra la estación hidrométrica “El Tigre”, la misma que permite el registro de los caudales del Río Tumbes.



FIGURA 53. Geomorfología del Río Tumbes en el del Sector (Imagen 2021)

En el sector La Arena (margen derecha), se evidencia la presencia de gravas en la orilla lo que sugiere transporte fluvial de material más grueso. El cauce denota una curvatura que a su vez está formando una barra de depósito de material aluvial.



FIGURA 54. Acumulación de material grueso en ribera del Rio Tumbes + Sector Arena (Imagen 2024)

En la desembocadura de la quebrada angostura hacia el río Tumbes se puede notar la diferencia en el color del fluido debido a la diferencia en la concentración de sedimentos. Así mismo se aprecian depósitos arenosos y limosos que el río ha ido depositando en su ingreso hacia el cauce de la quebrada Cabuyal.



FIGURA 55. Confluencia entre quebrada Cabuyal y Rio Tumbes (Imagen 2024)

Cerca de la captación de bombeo “La Palma” se observa una barra de sedimentos en el centro del cauce, lo que sugiere un punto de deposición donde la velocidad del flujo disminuye y los materiales transportados se depositan. Así como la actividad agrícola en que pueden influir en la dinámica del río.



FIGURA 56. Presencia de barras de sedimentos dentro del cauce (Imagen 2021)

Las obras hidráulicas realizadas como protección en las márgenes del río, también influyen en el comportamiento fluvial del río, sin embargo, con el pasar del tiempo se deterioran producto del desgaste natural al que están expuestas.



FIGURA 57. Gavión en la margen derecha del Río Tumbes (Imagen 2021)

En el sector malval, la curvatura del río se ha ampliado con mayor notoriedad después del ciclón Yaku, así lo demuestran las imágenes de los años 2020 y 2023, donde a su vez se aprecia la pérdida de vegetación que protegía el talud de la ribera, producto de la erosión y arrastre de cultivos en las márgenes.



FIGURA 58. Curvatura en el sector malval 2020 (izquierda) y 2023 (derecha)

Otro tipo de obras hidráulicas para la corrección de un cauce, son los espigones, los cuales han sido colocados en años anteriores en el río Tumbes, de estas estructuras aún se pueden apreciar algunas frente al sector Pampa grande.



FIGURA 59. Presencia de espigones en la margen izquierda del Río Tumbes.

Desde la Planta de Agua Potable se visualiza la curvatura que forma el río Tumbes entre el Sector Pampa Grande (Margen Derecha) y (Corrales Margen Izquierda), para metros aguas abajo generar un redireccionamiento hacia el Puente Tumbes



FIGURA 60. Curvatura del Rio Tumbes entre el sector Pampa grande (cóncava) y Corrales (convexa)

Aguas abajo del Puente Tumbes, existe un punto de desfogue de las aguas servidas de la ciudad. El vertido se realiza por medio de bombas que impulsan el flujo y sale por una cámara, donde luego se dirige por medio de un encauzamiento hasta el río.



FIGURA 61. Desfogue de las aguas residuales hacia el Rio Tumbes

Uno de los drenes más importantes que tiene el Rio Tumbes es el “Piojo”, el cual cumple la función de aliviadero cuando el rio supera su capacidad hidráulica, por lo

que a través de este dren evacua el flujo de agua hacia el mar por el sector de Playa Hermosa en una confluencia con el estero la “Chepa” y Corrales



FIGURA 62. Dren el Piojo (2023)

En la parte baja del Rio Tumbes, en el sector Huaquillas la actividad agrícola ha estrechado el cauce, lo cual se agrava si se considera la alta marea cuando existen caudales máximos.



FIGURA 63. Sector Huaquillas

3.6.5. DESCARGA DE IMÁGENES SATELITALES

En este capítulo se lleva a cabo la descarga de imágenes satelitales correspondientes a los tramos y periodos de evaluación a través del sitio web del Servicio Geológico de Estados Unidos (United States Geological Survey - <http://earthexplorer.usgs.gov>)

Es preciso reconocer e identificar un producto Landsat considerando la codificación adoptada por la NASA, tal cual se detalla a continuación

Tabla 8. Codificación para identificar imágenes Landsat

LCNN_LLLL_PPPRRR_YYYYMMDD_yyyymmdd_CC_TX	
L	Landsat
C	Sensor ("C" = OLI/TIRS combined, "O" = OLI-only, "T" = TIRS-only)
NN	Satellite ("09" = Landsat 9)
LLLL	Processing correction level (L1TP/L1GT)
PPP	WRS path
RRR	WRS row
YYYYMMDD	Acquisition year (YYYY)/Month(MM)/Day(DD)
yyymmdd	Processing year (yyyy)/ Month (mm)/ Day (dd)
CC	Collection number (02)
TX	Collection category ("T1" = Tier 1, "T2" = Tier 2)
Example:	LC09_L1TP_029030_20190729_20200827_02_T1

En Landsat, generalmente se recomienda usar los datos de Nivel 2 pues cuentan con la certificación del Comité de Satélites de Observación de la Tierra (CEOS) para cumplir con la norma CARD (Datos Listos para Análisis). Esta certificación, reconocida internacionalmente, garantiza que estos productos se han procesado según unos requisitos mínimos y se han organizado de forma que permiten un análisis inmediato, lo que facilita su uso directo en estudios de teledetección. https://docs.digitalearthafrika.org/en/latest/data_specs/Landsat_C2_ST_specs.html

La colección Landsat 2 de nivel 2 del USGS incluye: Reflectancia de la superficie y Temperatura de la superficie, que para el presente estudio solo se consideraran los datos de reflectancia de superficie los cuales mejora la comparación entre múltiples imágenes de la misma región al tener en cuenta efectos atmosféricos como la dispersión de aerosoles y las nubes delgadas, lo que puede facilitar la detección y caracterización de los cambios en la superficie terrestre.

Los siguientes pasos explican la descarga de los datos de imágenes Satelitales Landsat para el área de estudio.

- Ingrese a su navegador web y acceda al sitio <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Seleccione la opción Registrarse y complete el proceso indicado. Una vez finalizado el registro, inicie sesión en la plataforma USGS EarthExplorer.

- A continuación, se define el área de interés para la búsqueda. Puede realizarse de distintas formas: ingresando el nombre de un lugar, acercando la vista en el mapa y utilizando las coordenadas del área visualizada. En la parte inferior se puede seleccionar el rango de fecha a buscar y porcentajes de nubosidad.

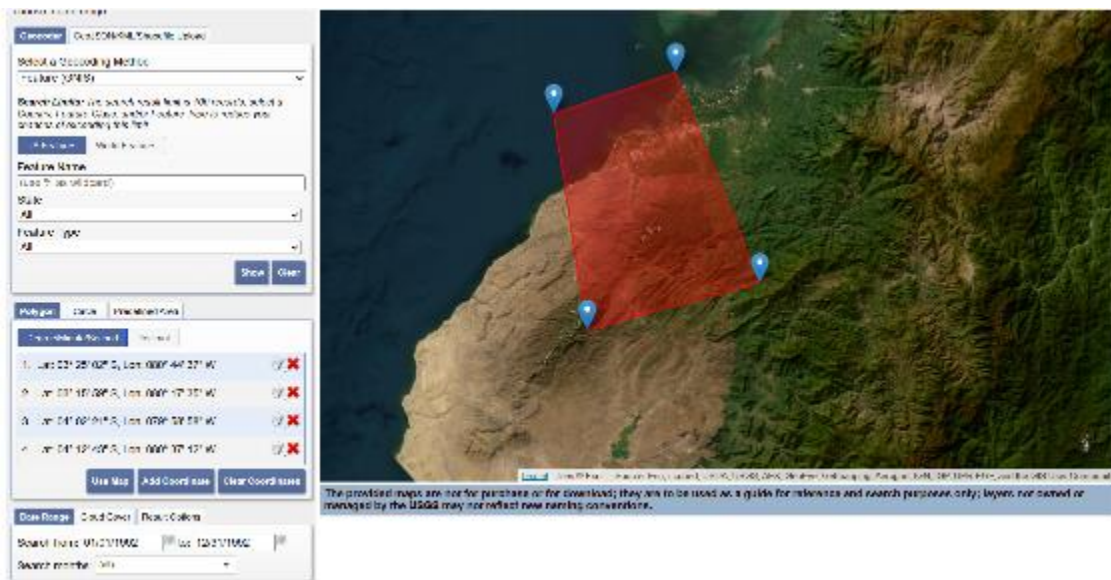


FIGURA 64. Búsqueda según área de interés en USGS EarthExplorer.

- En el conjunto de datos debemos seleccionar satélite Landsat > Landsat Collection 2 Level 2, y según la fecha se elige la misión de orbita.

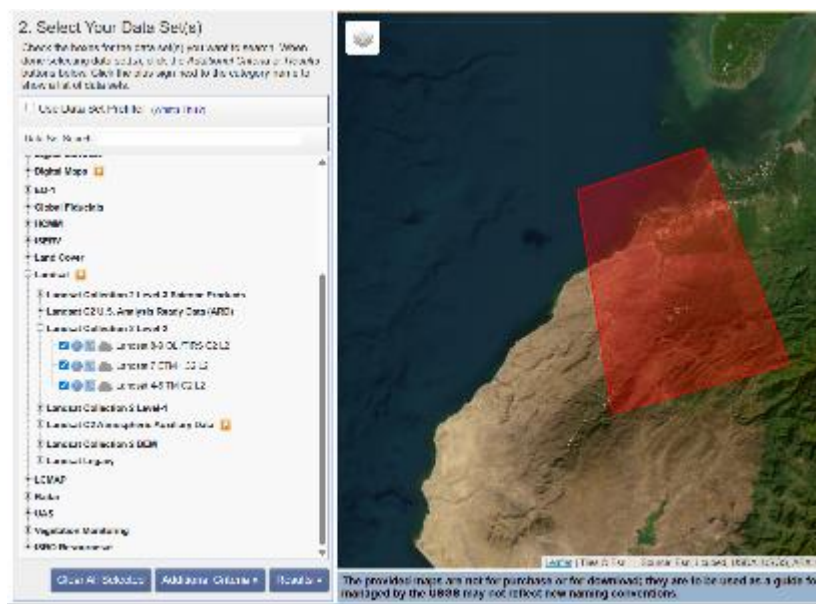


FIGURA 65. Selección de misión LANDSAT

- En la sección Resultados, será necesario elegir la imagen según nuestro criterio, priorizando aquella que ofrezca una mejor visualización del área de

estudio. Posteriormente, se procede a la descarga utilizando el ícono de la flecha verde.

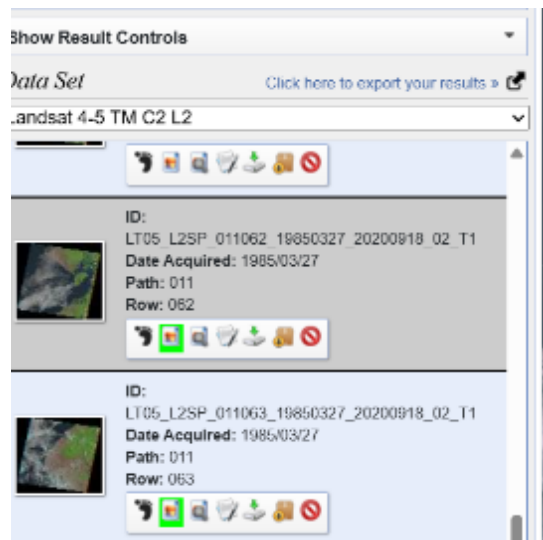


FIGURA 66. Selección de Imagen LANDSAT

- Al hacer clic en la opción de descarga, se abrirá una nueva ventana en la que se presentan dos alternativas siendo la reflectancia de superficie la escogida para la investigación.



FIGURA 67. Descarga de Información

A continuación, se presentan las Imágenes Landsat descargadas para realizar el estudio el cual abarca el periodo de 1973 – 2025, que involucra las misiones Landsat 01 hasta el Landsat 08.

Tabla 9.

Productos Landsat descargados desde 1973 - 2025

AÑO	PRODUCTO LANDSAT	
1973	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011063_19730209	
1974		
1975		
1976	LANDSAT/LE01/C01/T1_L1/LE07_011062_19760301	LANDSAT/LE01/C01/T1_L1/LE07_011063_19760301
1977	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011062_19770603	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011063_19770603
1978	LANDSAT/LE03/C01/T1_L1/LE07_011062_19780923	LANDSAT/LE03/C01/T1_L1/LE07_011063_19780923
1979	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011062_19790909	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011063_19790909
1980	LANDSAT/LE03/C01/T1_L1/LE07_011062_19800614	LANDSAT/LE03/C01/T1_L1/LE07_011063_19800614
1981	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011062_19810320	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011063_19810320
1982	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011062_19820120	LANDSAT/LE02/C01/T1_L1/LE07_011063_19820120
1983	LANDSAT/LE03/C01/T1_L1/LE07_011062_19830211	LANDSAT/LE03/C01/T1_L1/LE07_011063_19830211
1984	LANDSAT/LE04/C01/T1_L1/LE07_011062_19840112	LANDSAT/LE04/C01/T1_L1/LE07_011063_19840112
1985	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19850327	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19850327
1986	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19860314	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19860314
1987	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19870418	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19870418
1988		
1989		
1990	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19900120	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19900120
1991	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19910413	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19910413
1993	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19930605	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19930605
1994	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19940421	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19940421
1995	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19951118	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19951118
1996	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19960325	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19960325
1997	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19970224	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19970224
1998	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011062_19980126	LANDSAT/LE05/C02/T1_L2/LE07_011063_19980126
1999	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_19990716	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_19990716
2000	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20000531	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20000531
2001	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20010331	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20010331
2002	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20020505	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20020505
2003	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20030406	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20030406
2004	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20040408	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20040408
2005	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20050529	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20050529
2006	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20060516	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20060516
2007	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20070503	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20070503
2008	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20080708	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20080708
2009	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20090508	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20090508
2010	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20100409	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20100409
2011	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20110311	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20110311
2012	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011062_20120329	LANDSAT/LE07/C02/T1_L2/LE07_011063_20120329
2013	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20130527	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20130527
2014	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20140311	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20140311
2015	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20150805	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20150805
2016	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20160519	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20160519
2017	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20171013	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20171013
2018	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20180306	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20180306
2019	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20190426	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20190426
2020	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20200615	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20200615
2021	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20210415	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20210415
2022	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20220504	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20220504
2023	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20230320	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20230320
2024	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011062_20240626	LANDSAT/LC08/C02/T1_L2/LC08_011063_20240626
2025	LANDSAT/LC09/C02/T1_L2/LC09_011062_20250621	LANDSAT/LC09/C02/T1_L2/LC09_011063_20250621

Nota: En el caso de las celdas vacías, corresponden a que no existe información de dichos años o no es apta para los fines de la Investigación

3.6.6. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES

a) Factor de escala

La reflectancia superficial, expresada como un valor adimensional, representa la proporción de radiación solar incidente que es reflejada por la superficie terrestre y registrada por el sensor del satélite Landsat 8 y 9 de nivel 2 de la Colección Landsat 2.

Los algoritmos LEDAPS y LaSRC realizan la corrección de los efectos de dispersión y absorción provocados por los gases atmosféricos, los aerosoles y el vapor de agua, cuyas variaciones temporales, espaciales y espectrales pueden afectar la señal registrada, siendo esta corrección fundamental para una caracterización confiable de la superficie terrestre. (U.S. Geological Survey, 2023).

Según el U.S. Geological Survey (2024) para garantizar un análisis preciso de los datos de reflectancia superficial, se deben aplicar los factores de escala adecuados para convertir los números digitales (DN) en valores de reflectancia significativos, utilizando la siguiente fórmula.

$$SR = (DN * 0,000275) - 0,2$$

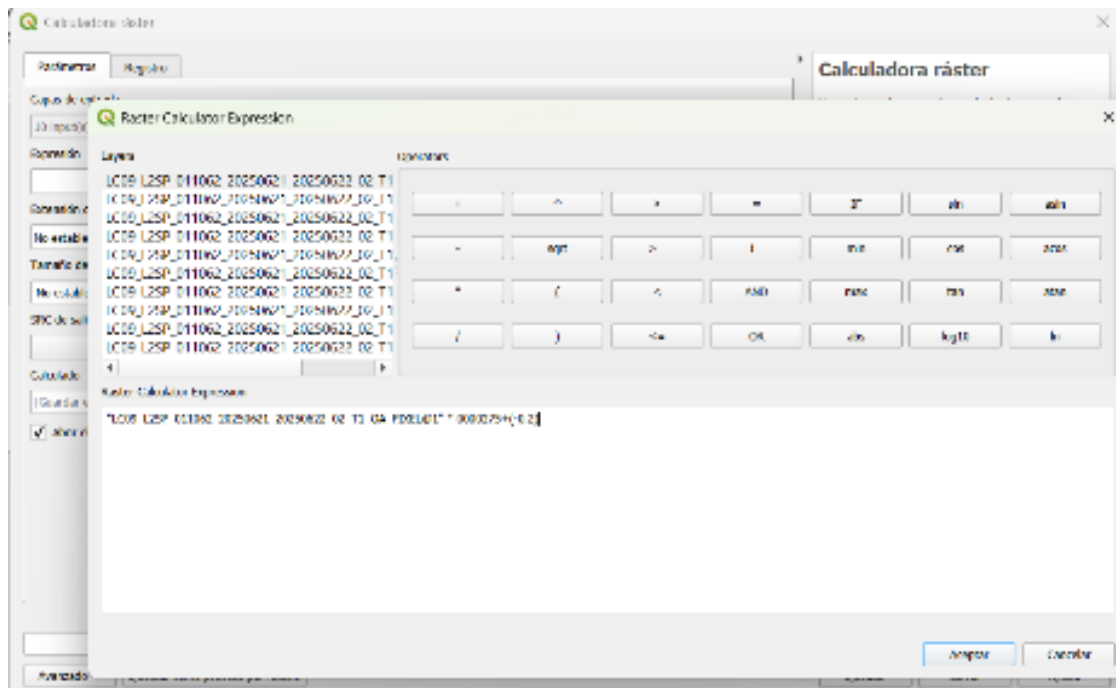


FIGURA 68. Factor de escala para Reflectancia Superficial en Landsat 8 y 9

b) Corrección por bandeamiento.

El saneamiento es un error que se puede observar en las imágenes Landsat 7 debido a una falla permanente en el Corrector de Escaneo Lineal (SLC) en mayo de 2003, lo que provoca que sus imágenes presenten "bandas" negras o franjas sin datos a los lados de la imagen.



FIGURA 69. Error de bandas en Landsat 7

Para subsanar el error generado por la falla del sensor, se utilizó el software QGIS con su herramienta raster "Rellenar sin datos", donde se cargan las imágenes la máscara de validación que es el archivo gap_mask, el cual se descarga automáticamente al obtener las imágenes Landsat 7.

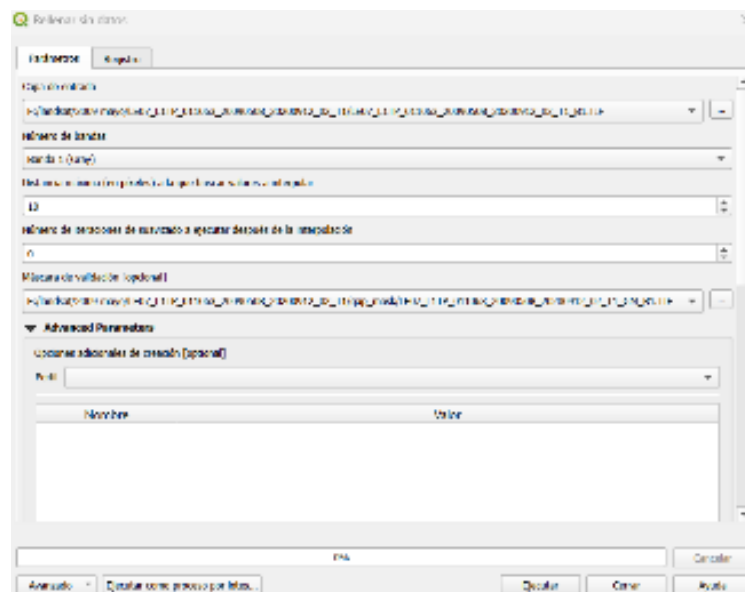


FIGURA 70. Corrección de Imágenes Landsat 7

c) Composición de Bandas

Las imágenes Landsat descargadas en la plataforma Earth Explorer y posteriormente corregidas, contienen de forma separada sus bandas en formato TIF, por lo que es necesario unir los archivos individuales en un solo archivo mediante la herramienta “Crear ráster virtual”

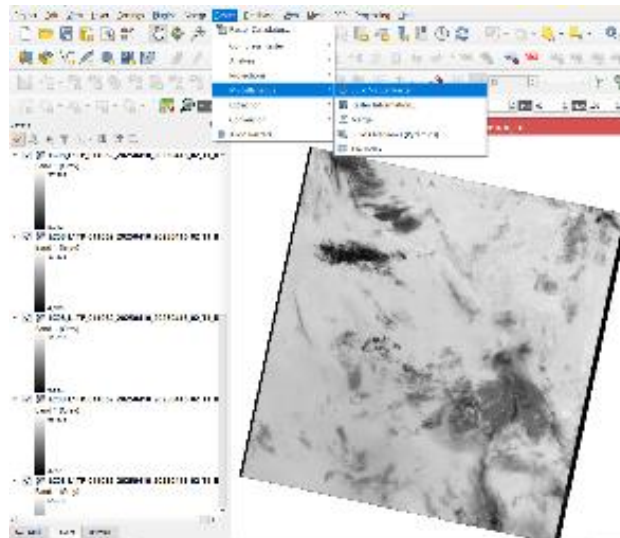


FIGURA 71. Herramienta Crear Raster Virtual en Qgis

Debido a que la zona de estudio abarca los cuadrantes 62 y 63, es necesario una combinación de ambos a fin de obtener una sola Imagen. Este proceso se ha realizado en ArcgisPro seleccionando los raster y en la pestaña Imagery > Process > Mosaic.

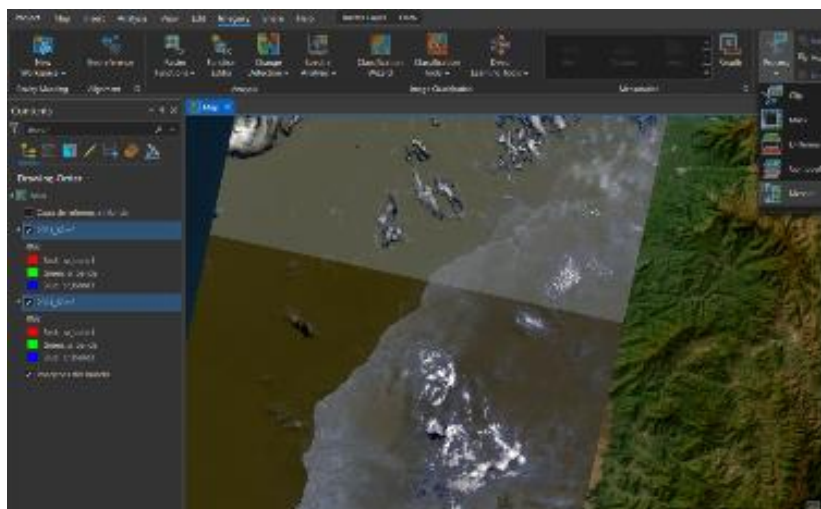


FIGURA 72. Herramienta Mosaic en ArcgisPro

Con la finalidad de distinguir los cuerpos de agua de la superficie natural del terreno se ha utilizado la combinación RGB: 564 para la misión Landsat 8 , RGB: 453 para las misiones Landsat 5 al 7 y RGB: 432 para las misiones Landsat 1 al Landsat 3.

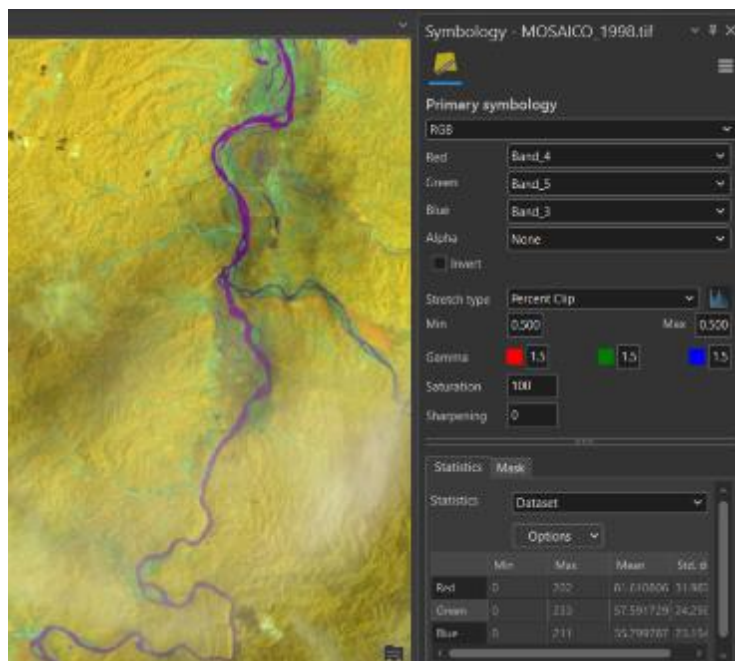


FIGURA 73. Combinación 453 Para Imag. Landsat 5

3.6.7. DIGITALIZACION DEL CAUCE

La delimitación y trazado del cauce principal se realizó a partir del análisis visual de la composición de las imágenes satelitales, la cual permite resaltar los cuerpos de agua debido a la baja reflectancia que estos presentan en las bandas del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta.

Sobre la base de dicha representación, se procedió a la creación de una capa vectorial tipo línea (shapefile), destinada a la digitalización manual del eje del cauce. El criterio adoptado para el trazado del cauce principal fue la identificación de las zonas con mayor intensidad de color azul y/o violeta dentro del canal, interpretadas como sectores de mayor concentración de flujo, asumiendo que este corresponde al eje del cauce.

Este procedimiento fue aplicado en el programa QGIS de manera consistente para cada uno de los años analizados, garantizando uniformidad metodológica en la comparación multitemporal y permitiendo evaluar los cambios en la dinámica y migración lateral del cauce a lo largo del período de estudio.

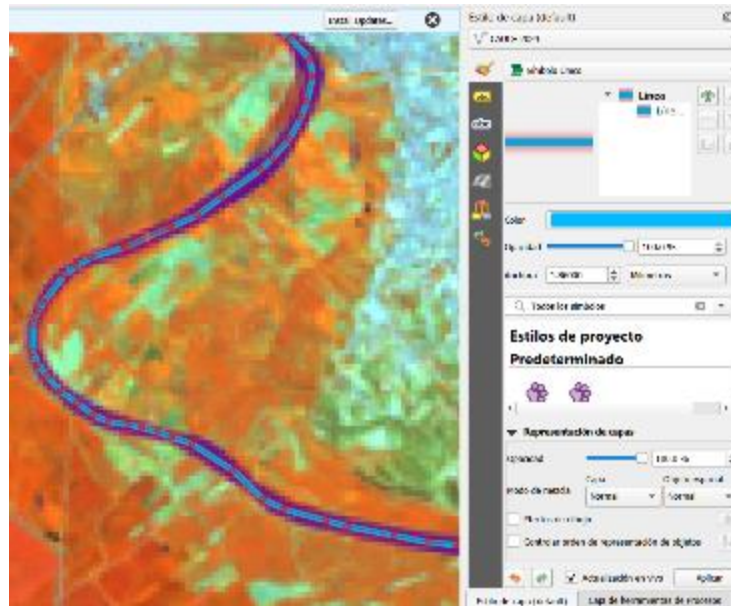


FIGURA 74. Digitalización del cauce en QGIS

3.6.8. CÁLCULO DEL INDICE DE SINUOSIDAD

El índice de sinuosidad actúa como un indicador cuantitativo de la inestabilidad morfológica del cauce a través del tiempo que relaciona entre la energía hidrodinámica del flujo y la capacidad de transporte de sedimentos (Martínez & Madrid, 2022).

La configuración y geometría de un cauce con meandros se determinan por los procesos de erosión y sedimentación que ocurren en río.

La ecuación para realizar el cálculo de la sinuosidad del cauce viene dada por la siguiente ecuación (Leopold y Wolman, 1957):

$$S = \frac{\ell}{L}$$

Donde:

S= sinuosidad del cauce.

ℓ = longitud medida del eje entre los extremos (incluye curvaturas)

L = línea recta que une los extremos

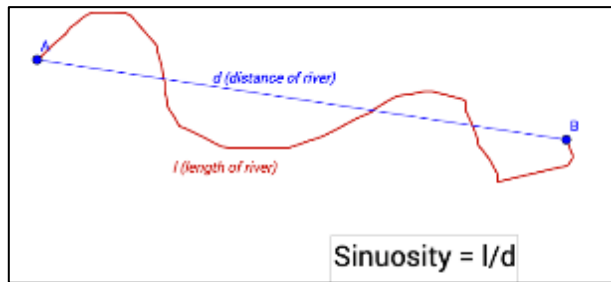


FIGURA 75. Cálculo de la sinuosidad

Según Leopold y Wolman (1957), una corriente puede considerarse meandrante cuando su sinuosidad supera 1.5. De manera general, se clasifica la sinuosidad como baja entre 1.0 y 1.3, moderada entre 1.3 y 2.0, y alta cuando es mayor que 2.0.



FIGURA 76. Tipos de sinuosidad

Fuente: Rocha, 2009

En la siguiente tabla Schumm considera la siguiente clasificación del cauce de acuerdo con el grado de sinuosidad que presenta.

Tabla 10.

Clasificación del cauce según índice de sinuosidad

Tipo de Cauce	Sinuosidad
Canal rectilíneo	< 1
Canal transicional	1.2 – 1.5
Canal regular	1.5 – 1.7
Canal irregular	1.7 – 2.1
Canal tortuoso	> 2.1

Fuente: (Schumm, 1963).

3.7. ANÁLISIS Y DETECCIÓN DE CAMBIOS

La detección de cambios en consiste en identificar cambios en una escena a partir de las imágenes satelitales Landsat capturadas en la misma zona. El análisis se

efectúa de sur a norte (de aguas arriba hacia aguas abajo), haciendo referencia a las zonas de color azul o violeta que hacen referencia al cauce.

3.7.1. CUADRANTE 1

En este cuadrante el Rio Tumbes esta presenta una movilidad limitada debido a las condiciones geológicas y geomorfológicas del sector higuerón, en el que se forma un valle del tipo V. Para el año 1976 se visualiza un cauce con un mayor desplazamiento hacia la margen derecha formando curvas consecutivas, y manteniendo dicha configuración hasta el año 1982, pues posterior al evento El Niño 1982-1983 es evidente un ensanchamiento del lecho ordinario y una mayor presencia de barras de sedimentos activos.

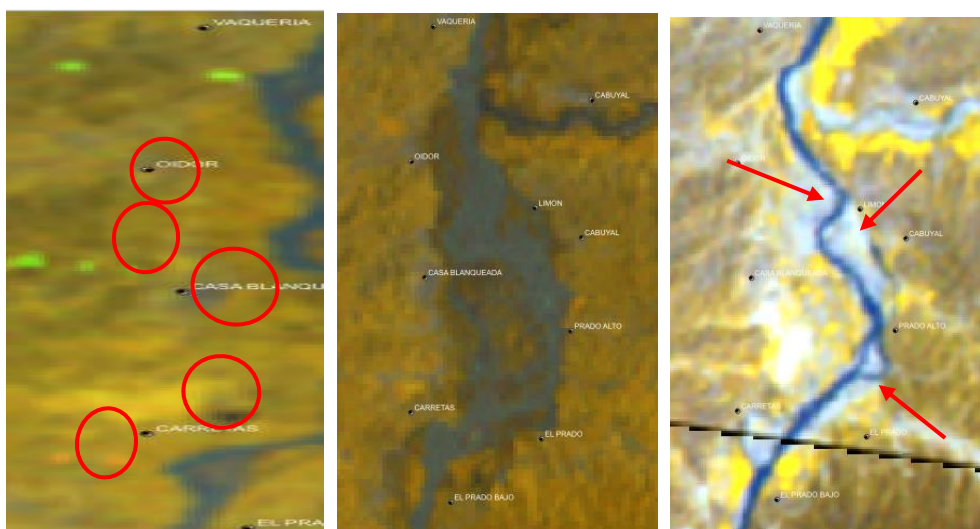


FIGURA 77. Cauce del rio tumbes - cuadrante 1 en los años 1976,1983 y 1984

En el año 1990 existe un desplazamiento marcado en la curvatura de la margen izquierda en el sector Casablanca, sin embargo, para el año 1993 se observa una mayor migración lateral del cauce, formando un canal anastomosado, el cual vuelve a formar un solo cauce principal para el año 1995.

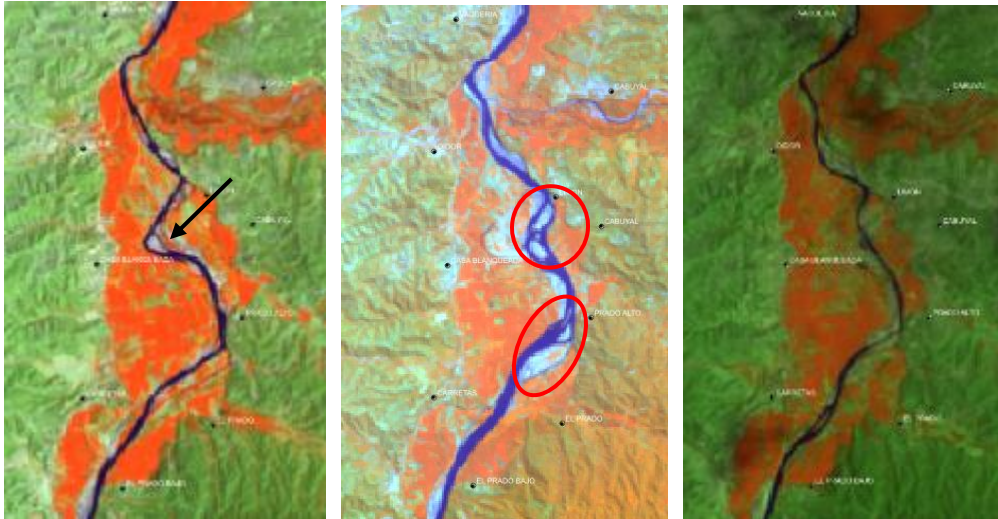


FIGURA 78. Cauce del río tumbes - cuadrante 1 en los años 1990,1993 y 1995

La imagen del año 1998 muestra una saturación del valle aluvial y un desbordamiento generalizado que alteró la geometría de las riberas, haciendo que para el año 1999 el cauce genere un brazo de menor capacidad formando una isla en el centro, que con el transcurrir de los años el trazo del cauce para el año 2012 volvió a ser de un solo canal, con algunos sectores trenzados.

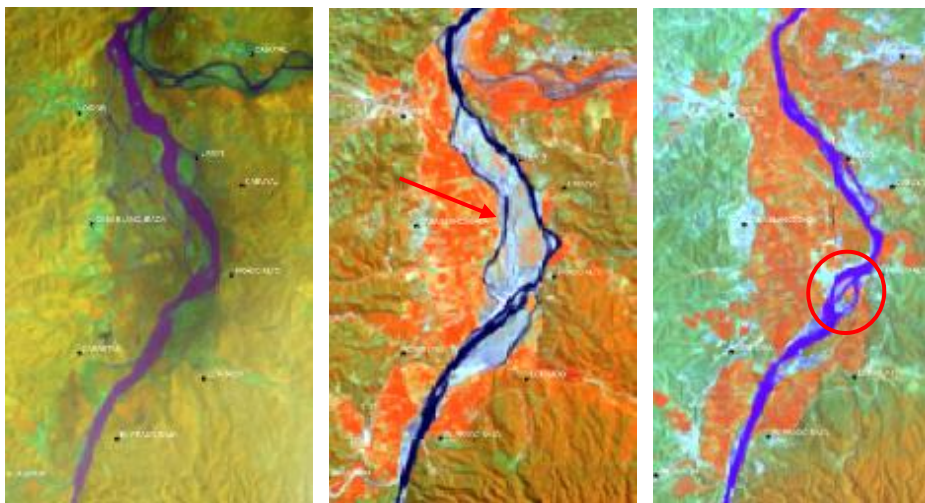


FIGURA 79. Cauce del río tumbes - cuadrante 1 en los años 1998,1999 y 2012

Para los años recientes sobre todo en los meses de crecidas, se aprecia la activación de estos paleocauces y una reorganización del cauce, con desplazamientos laterales significativos en ciertos sectores.

El río mantiene su carácter meándrico y con poca tendencia a modificar su trayectoria, lo que podría estar influenciado por la presencia de obras de protección lateral. La imagen de 2025 muestra un cauce trenzado lo que sugiere que el río

está perdiendo capacidad de transporte en este tramo, depositando material grueso que obliga al flujo a dividirse, aumentando el riesgo de erosión en ambas márgenes.

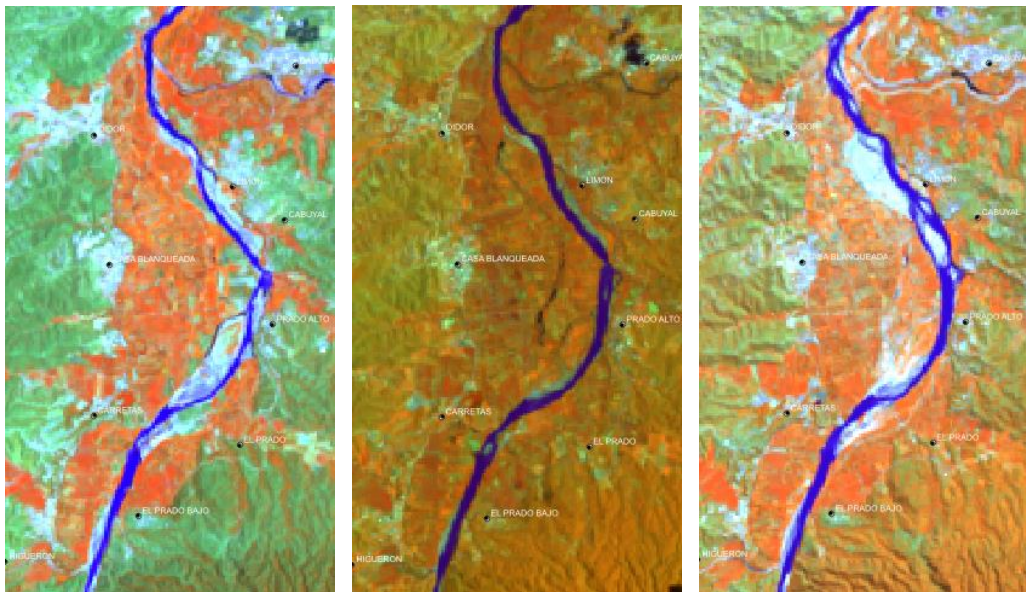


FIGURA 80. Cauce del río tumbes - cuadrante 1 en los años 2017,2023 y 2025

3.7.2. CUADRANTE 2

El año 1976 el cauce presenta una configuración meándrica moderada, con curvas y canales entrelazados en ciertos sectores, que posteriormente al Fenómeno el Niño 1983 - 1984 sufriría una reconfiguración siendo más definido con presencia de barras producto del transporte de sedimentos. Se considera a partir de estos años la influencia de la infraestructura hidráulica de la Bocatoma La Peña.

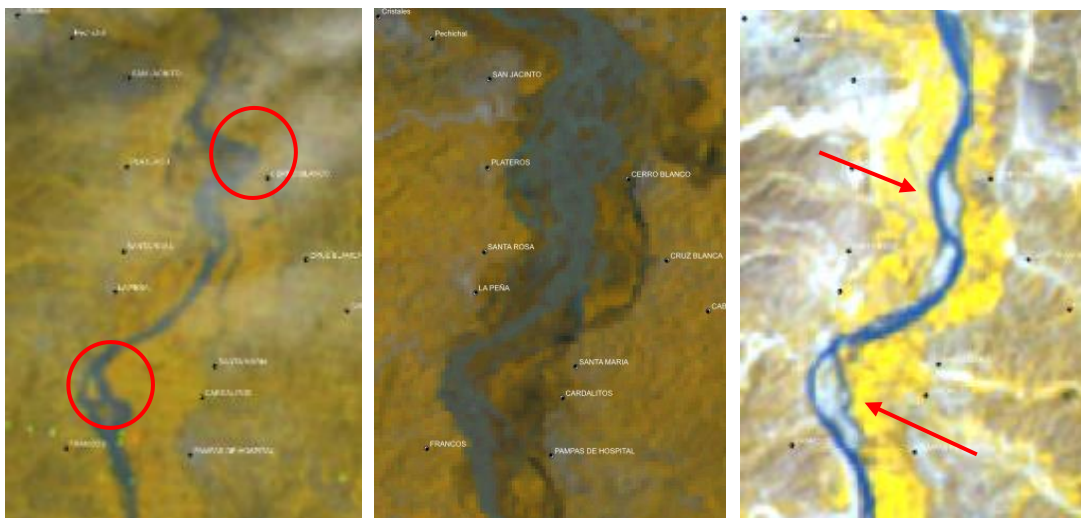


FIGURA 81. Cauce del río tumbes - cuadrante 2 en los años 1976,1983 y 1984

En la imagen del año 1987 se visualiza el cauce principal y el paleocauce. Se observa un desplazamiento lateral progresivo hacia la margen derecha en el sector Santa María para la imagen del año 1990, el cual se vuelve más pronunciado en 1993 también para el sector de Cerro Blanco, debido a la dinámica natural de erosión en márgenes cóncavos y deposición en márgenes convexas.

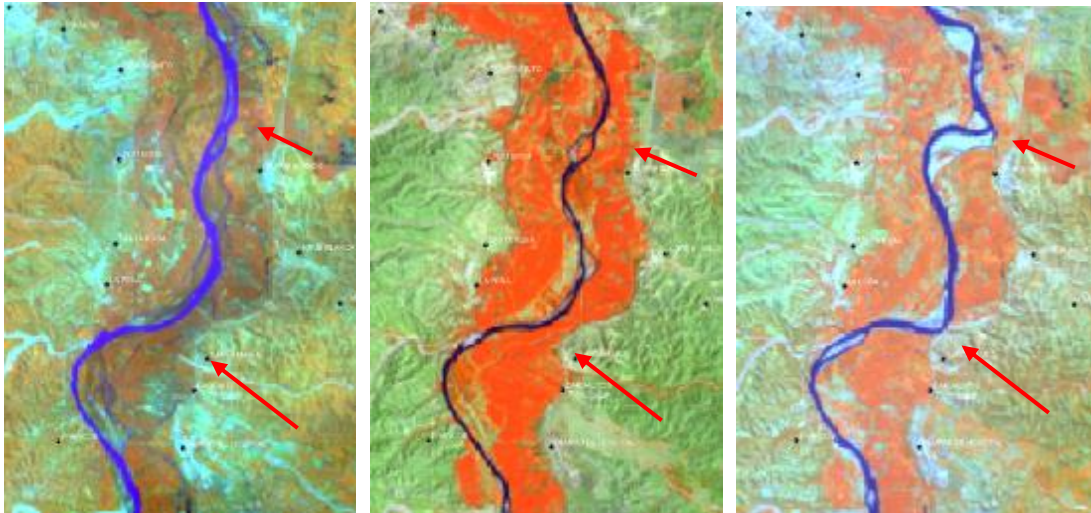


FIGURA 82. Cauce del río tumbes - cuadrante 2 en los años 1987, 1990 y 1993

En el fenómeno El Niño del 1998, la imagen muestra una inundación masiva, y su posterior año una modificación notable del cauce con la aparición de un meandro pronunciado en la margen derecha (localidad de Cruz Blanca) el cual es cortado y abandonado el año 2002.

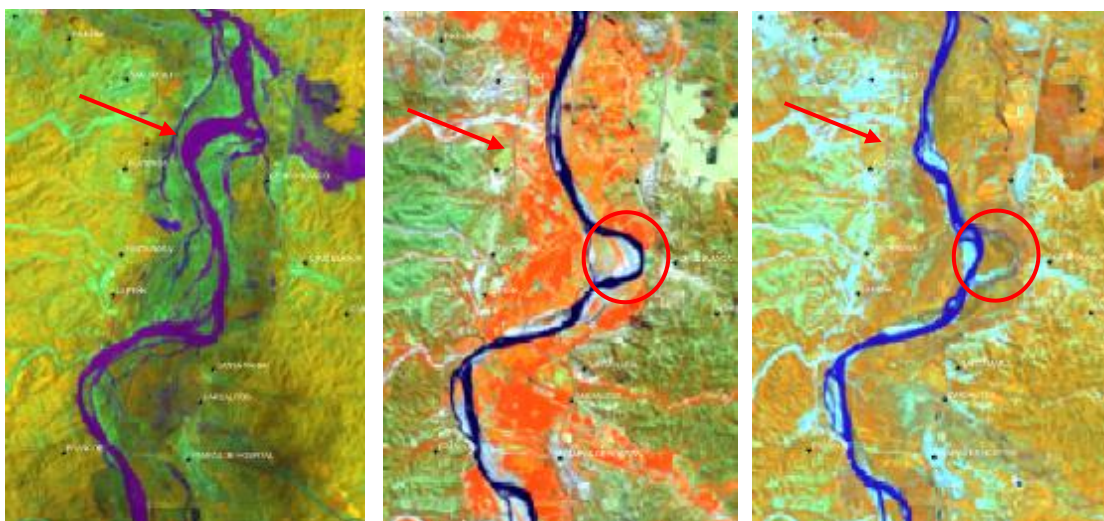


FIGURA 83. Cauce del río tumbes - cuadrante 2 en los años 1998, 1999 y 2002

Para el año 2008 existe una consolidación de una isla en la desembocadura de la quebrada vaquería y un desplazamiento lateral progresivo hacia la margen derecha como se muestra para las imágenes de los años 2010 y 2012.

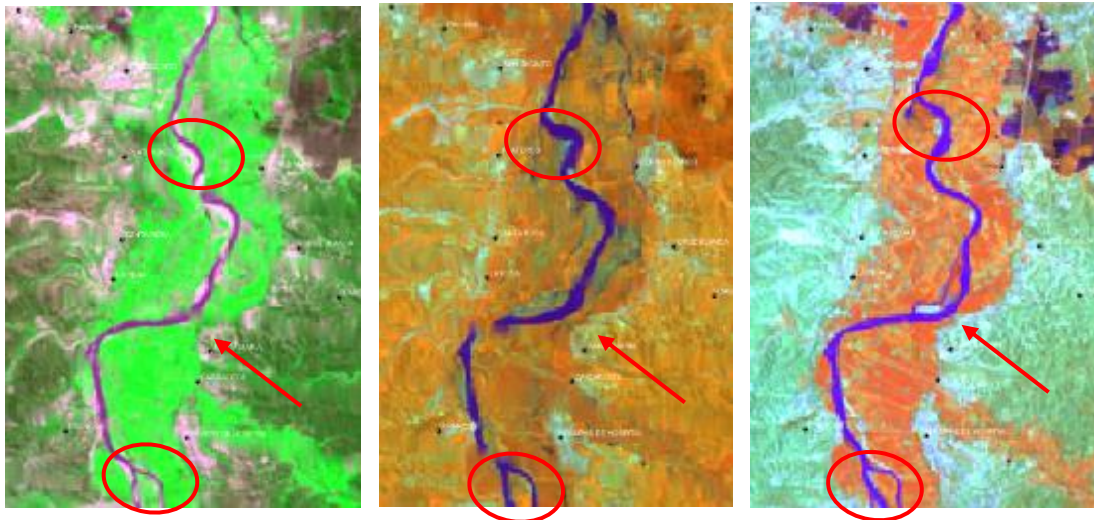


FIGURA 84. Cauce del río tumbes - cuadrante 2 en los años 2008, 2010 y 2012

Para el año 2015 se evidencia la formación inicial de meandros, además de la aparición de una isla en medio de dos canales el 2016 y la fase de madurez de los meandros para el 2017.

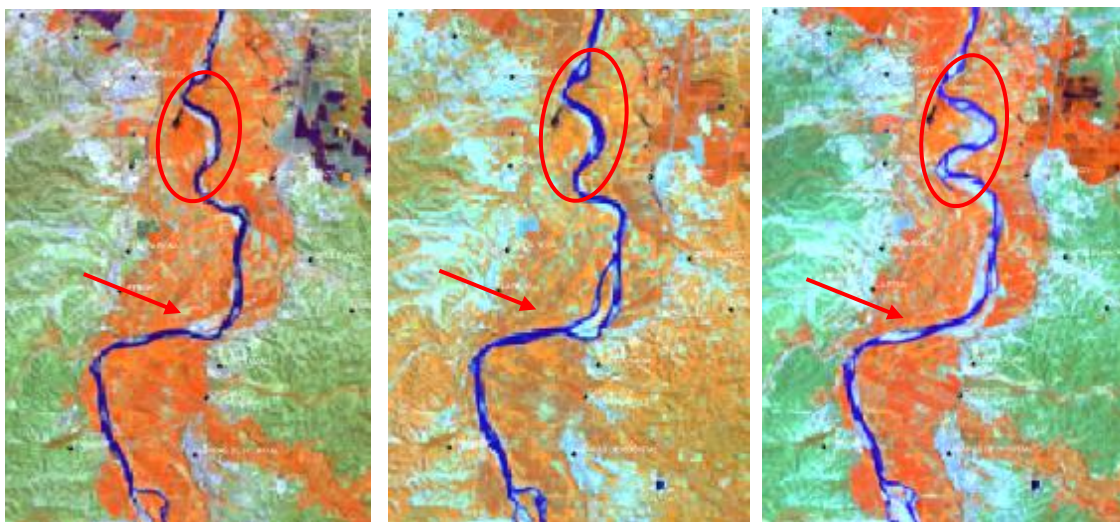


FIGURA 85. Cauce del río tumbes - cuadrante 2 en los años 2015, 2016 y 2017

Para el 2023, el meandro se ha cerrado casi por completo, formando un "cuello" muy estrecho. En 2024 y 2025, se produce el corte del meandro. El río busca el camino de menor resistencia dejando atrás un brazo muerto, permitiendo que exista una reconfiguración del cauce mostrando mayor sinuosidad.

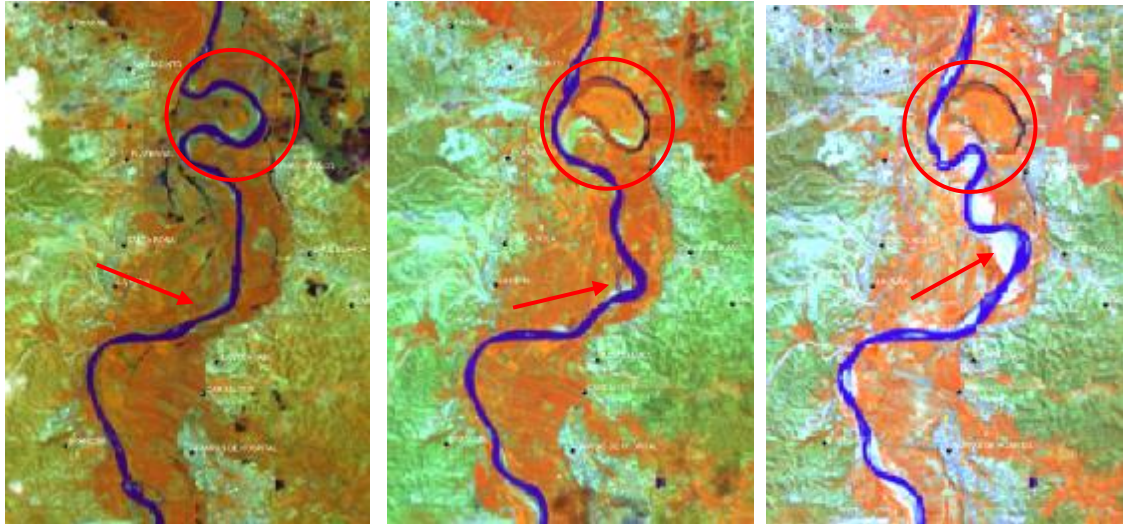


FIGURA 86. Cauce del río tumbes - cuadrante 2 en los años 2023, 2024 y 2025

3.7.3. CUADRANTE 3

Para el año 1976 y 1977 el cauce presenta una configuración meándrica con curvaturas moderadas, se observan desplazamientos laterales progresivos del canal posterior al Fenómeno El niño 1983-1984. Se aprecia para la imagen de 1991 la evolución del meandro y la aparición de una isla en entre dos canales.



FIGURA 87. Cauce del río tumbes - cuadrante 3 en los años 1977,1984 y 1991

En 1993 se aprecia un incremento en la sinuosidad del cauce, con meandros más pronunciados y desarrollo de curvas cerradas, agravando la situación en 1998 con la presencia del Fenómeno el Niño, provocando una reconfiguración del cauce, como se muestra en la imagen correspondiente al año 1999.

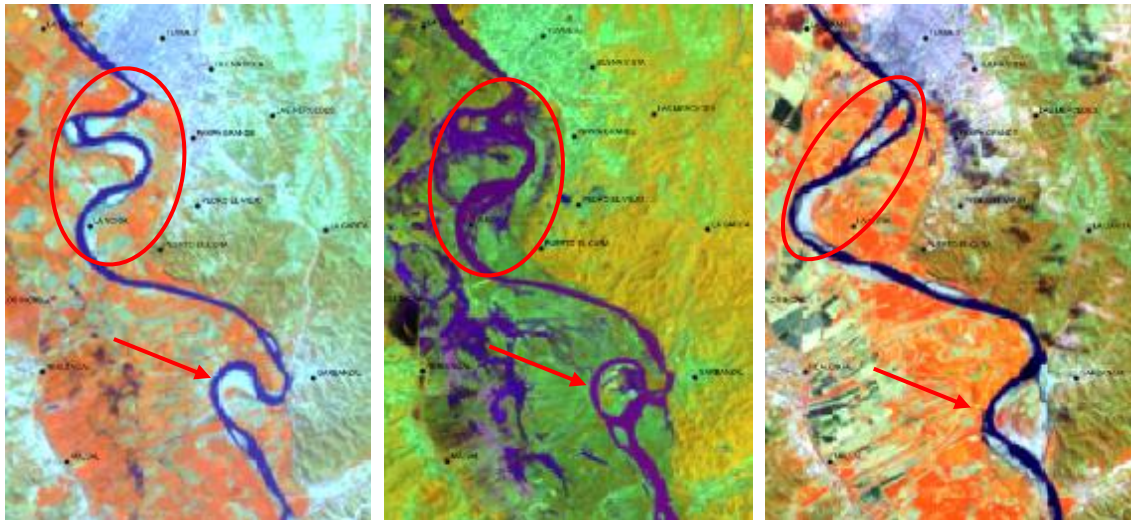


FIGURA 88. Cauce del río tumbes - cuadrante 3 en los años 1993,1998 y 1999

Para el año 2011 el cauce muestra cierta estabilización, y la reconfiguración de un solo cauce, debido a las obras de protección llevadas a cabo en la margen derecha e izquierda, sin embargo, la dinámica del río muestra desplazamientos laterales para los años siguientes y la formación de una curva cerrada en el año 2017, que coincide después de haberse presentado el Fenómeno El Niño Costero de ese mismo año.

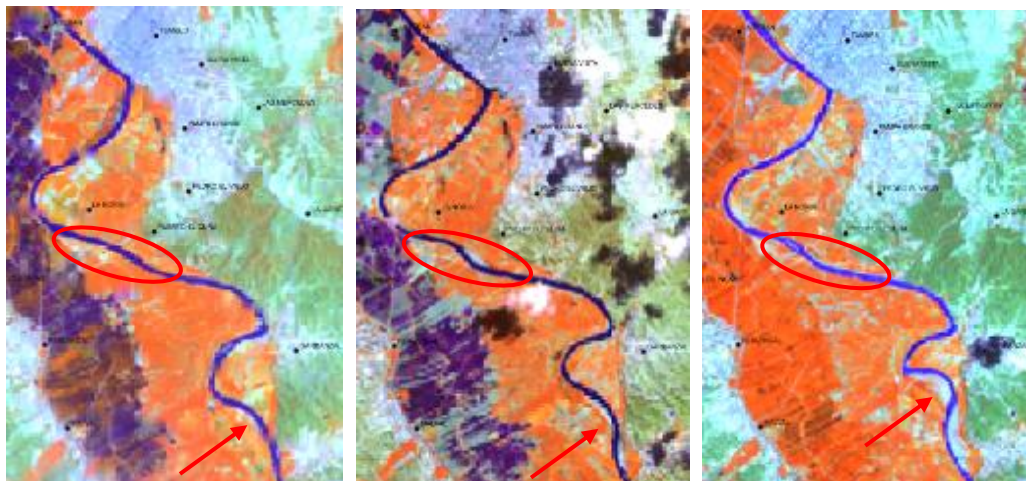


FIGURA 89. Cauce del río tumbes - cuadrante 3 en los años 2011,2015 y 2017

En los últimos años se observa el corte del meandro del sector Garbanzal, además de un desplazamiento lateral progresivo hacia la margen derecha en el sector Pampa Grande, lo que pone presión constante sobre los terrenos agrícolas de esa zona. Esto sugiere una pérdida de la profundidad del cauce, lo que obliga al río a ganar sección transversal a lo ancho para transportar el mismo volumen de agua.

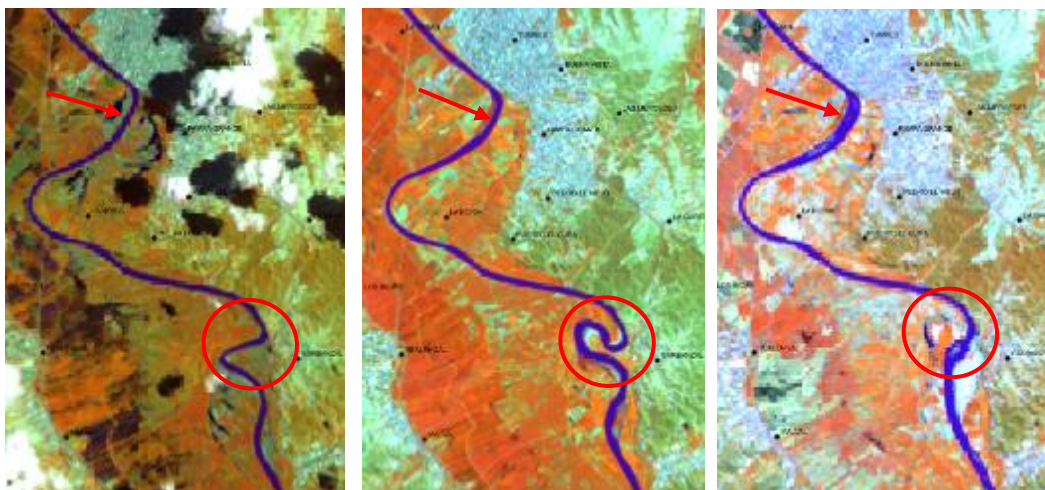


FIGURA 90. Cauce del río tumbes - cuadrante 3 en los años 2023,2024 y 2025

3.7.4. CUADRANTE 4

Durante los años 1976 a 1983 el cauce tiene un patrón meándrico divagante hacia la desembocadura, con múltiples curvas y meandros próximos al corte, como sucedió posterior al Fenómeno El Niño 1984 y la aparición de un canal secundario cuyo ancho iría en aumento, así como los depósitos fluviales en el delta.

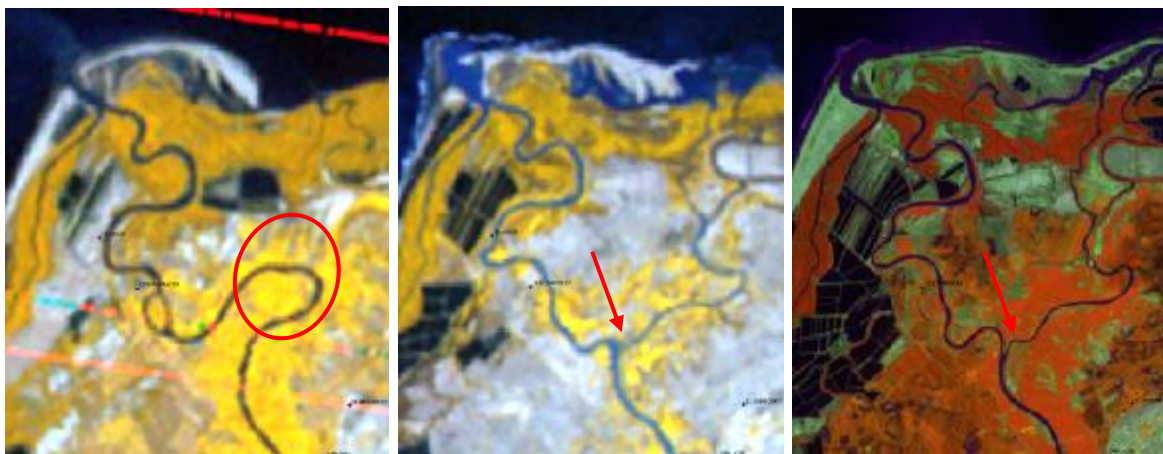


FIGURA 91. Cauce del río tumbes - cuadrante 4 en los años 1980,1984 y 1991

Para el año 1993, el río Tumbes tendría mayor presencia hacia el sector “Cherres”, con meandros más pronunciados, además se visualiza lagunas colindantes al cauce que indican la presencia de actividad pecuaria en la zona. Existe una expansión del flujo sobre la llanura aluvial durante el Fenómeno el Niño 1998 que trae consigo una reconfiguración del cauce debido al corte de meandros.

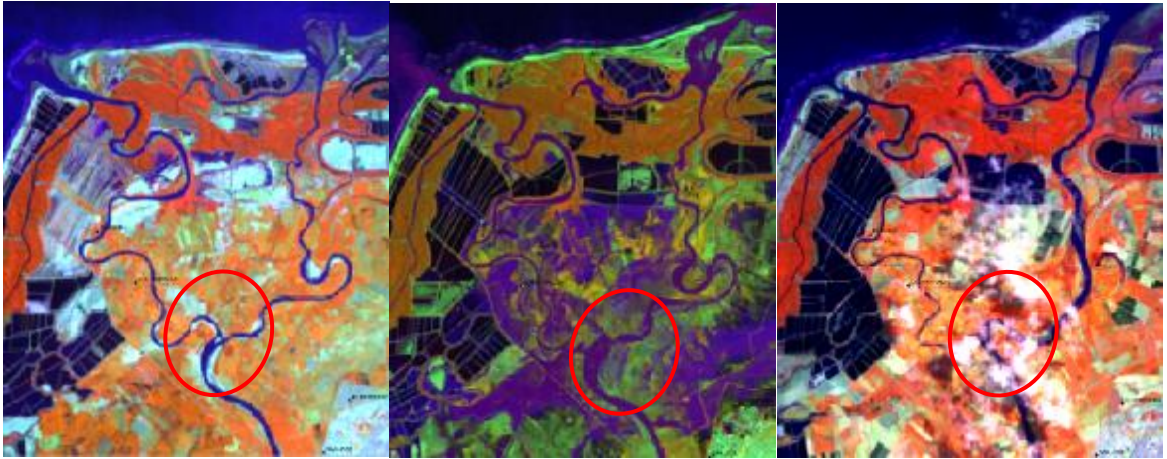


FIGURA 92. Cauce del río tumbes - cuadrante 4 en los años 1993,1998 y 1999

Posterior al evento extremo, el río entra en una fase de ajuste geomorfológico, donde se observa la consolidación de un cauce principal, abandono de paleocauces y una constante evolución de meandros.

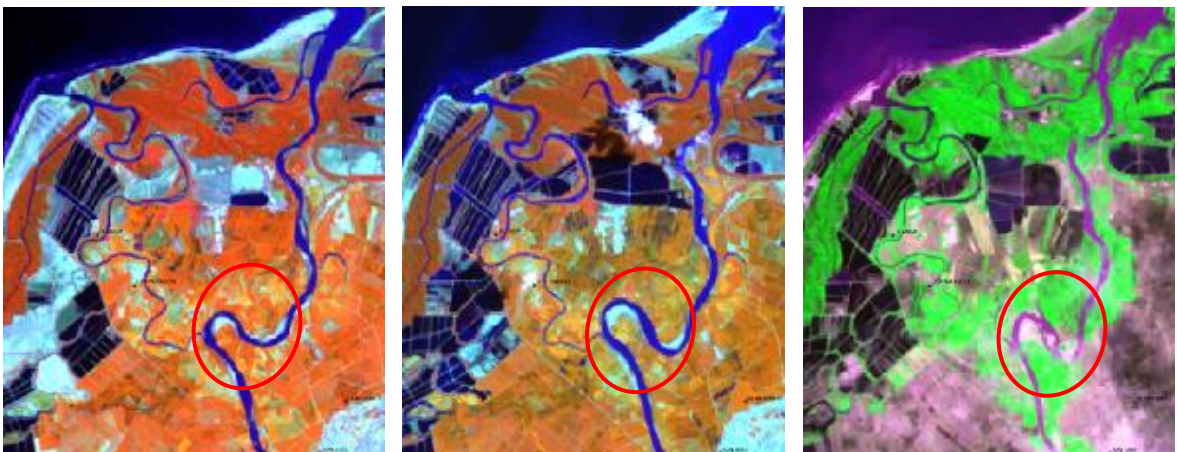


FIGURA 93. Cauce del río tumbes - cuadrante 4 en los años 2000,2002 y 2008

Durante los años 2011 al 2017 el río busca una estabilidad, pero se mantienen procesos activos de desarrollo de meandros. Esto indica un sistema con baja pendiente y alta capacidad de dispersión lateral del flujo, además de la influencia de la marea en el cauce.

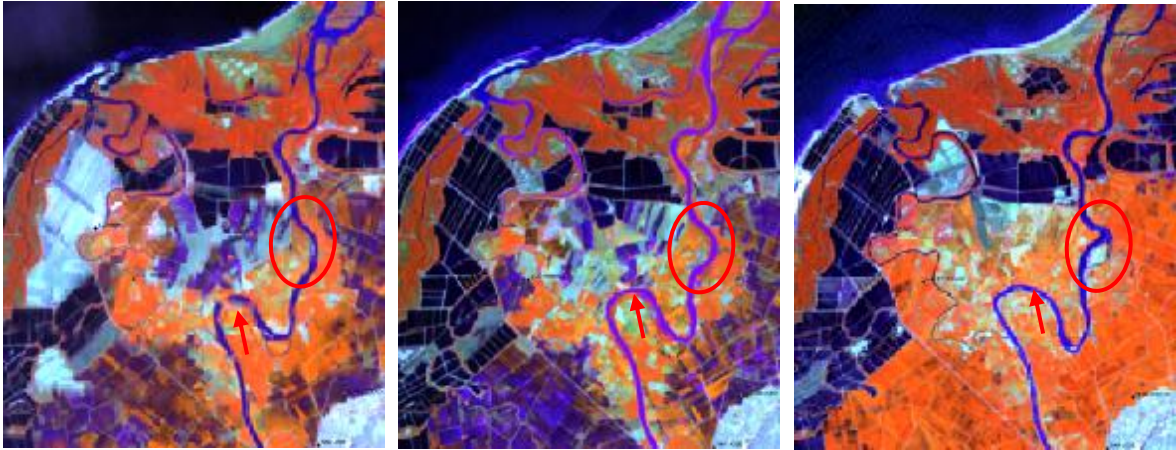


FIGURA 94. Cauce del río tumbes - cuadrante 4 en los años 2011,2014 y 2017

En los años más recientes, el comportamiento del cauce está fuertemente condicionado por la interacción con el medio agropecuario y con la colmatación. Se muestra que en el 2025 ha existido migración del thalweg hacia una zona de menor resistencia, volviendo a su desembocadura antigua (Sector Boca Grande)

Este comportamiento responde al cierre de aliviaderos y salidas naturales del río Tumbes sobre todo en la parte baja que ha sido urbanizada, lo cual influye en la búsqueda de un nuevo equilibrio hidráulico y sedimentario.

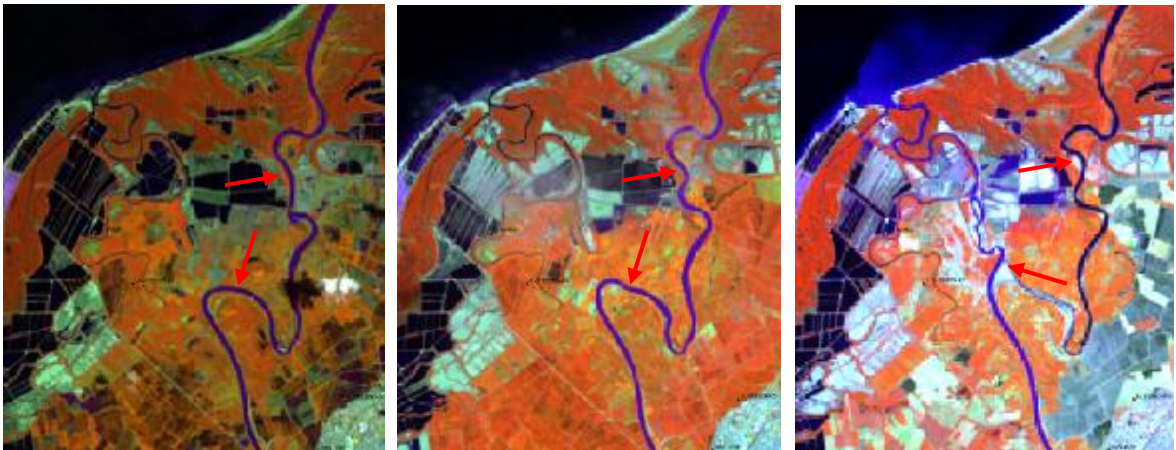


FIGURA 95. Cauce del río tumbes - cuadrante 4 en los años 2023,2024 y 2025

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. SINUOSIDAD DEL RIO TUMBES

El uso de imágenes satelitales Landsat procesadas mediante las combinaciones espectrales, permite identificar de manera sistemática y multitemporal la evolución del cauce del río Tumbes, la cual se ha dividido en las siguientes fases.

Fase de ajuste inicial y perturbación extrema (1976 – 1984): durante este periodo, el río presenta un patrón meándrico activo, con migración lateral progresiva. Sin embargo, este equilibrio natural es alterado por la ocurrencia del evento Fenómeno El Niño 1982-1983, cuyos efectos se extienden hasta 1984.

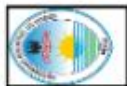
Fase de reorganización y expansión antrópica (1984 – 1996): posterior al evento extremo, el río inicia un proceso de reajuste geomorfológico, recuperando un patrón meándrico, aunque con cambios en su traza.

Fase de Máxima inestabilidad y reconfiguración (1997 – 2000): este periodo está dominado por el evento Fenómeno El Niño 1997-1998, generando cambios drásticos en la dinámica fluvial.

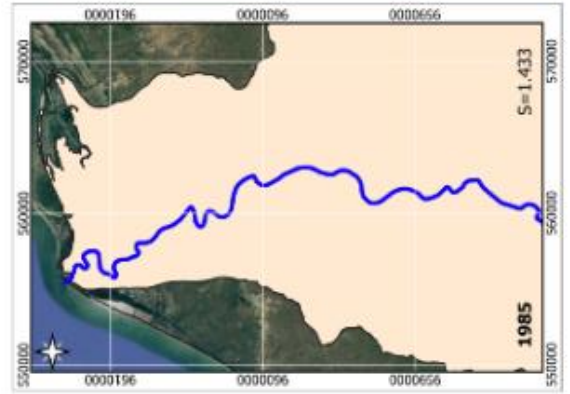
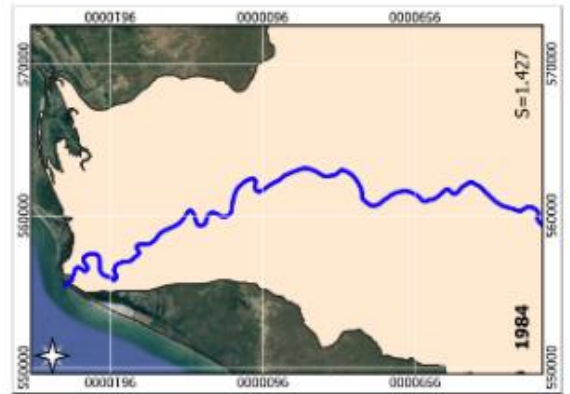
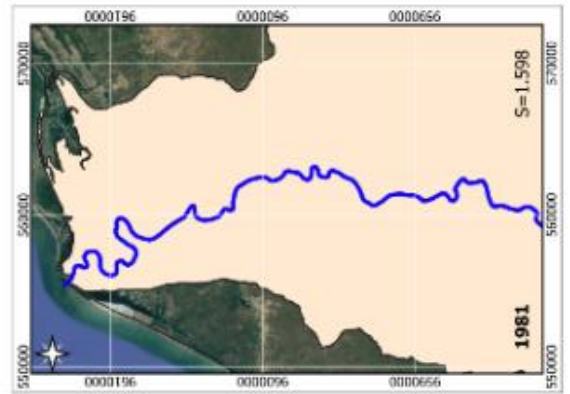
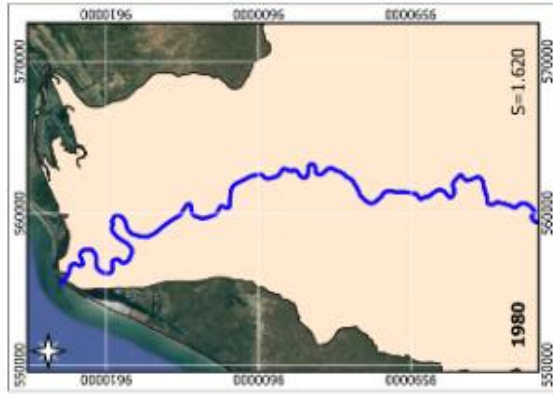
Fase de reajuste progresivo y control antrópico (2000 – 2016): posterior al evento extremo, el río inicia un proceso de estabilización relativa con ligeros cambios y desplazamientos laterales.

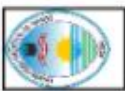
Fase de reactivación dinámica y eventos locales (2017 – 2025): en este periodo se evidencia una reactivación de la dinámica fluvial, con eventos específicos relevantes como el fenómeno el Niño Costero 2017, ciclón yaku 2023 y caudales extraordinarios durante los meses de lluvias en 2025.

En esta investigación, se conoce que el río Tumbes es de sinuosidad moderada según la clasificación de Leopold y Wolman (1957) y del tipo transicional y regular según la tipología de Schumm (1963).

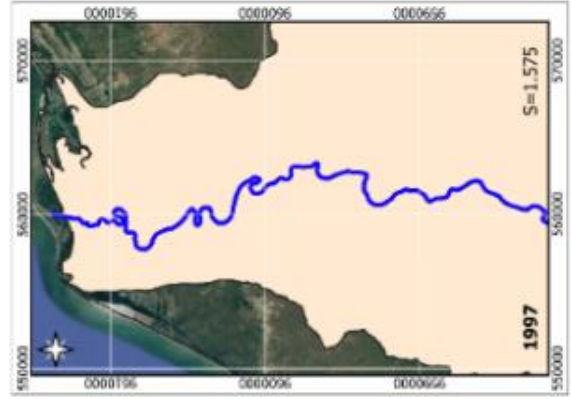
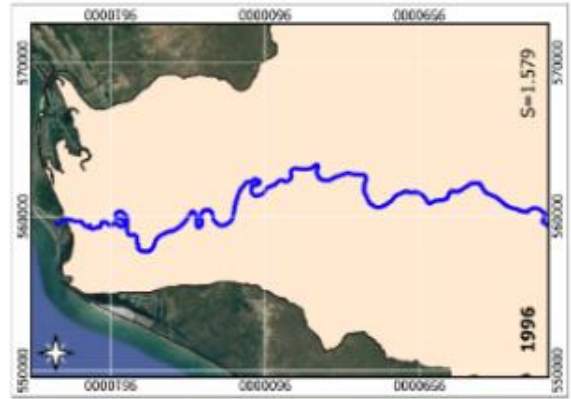
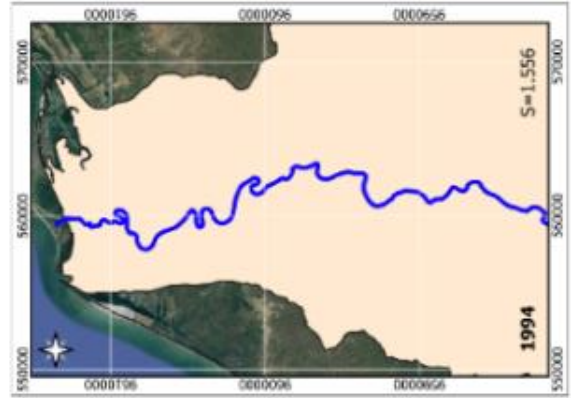
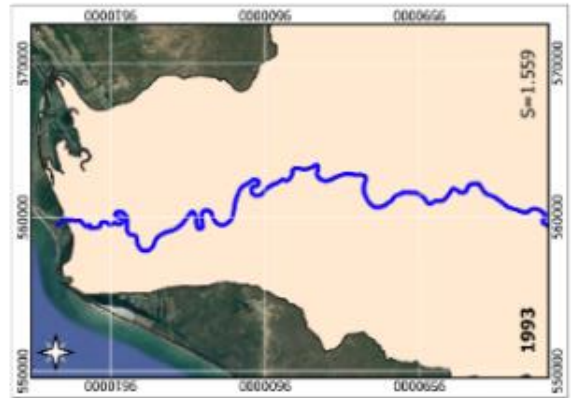
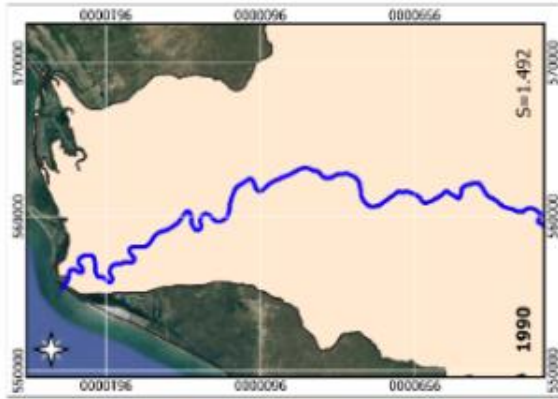
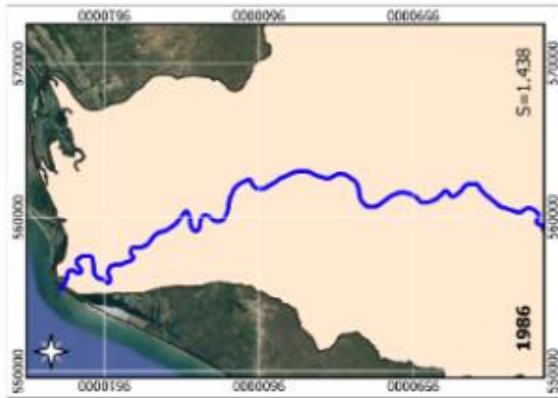


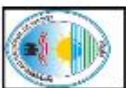
INDICES DE SINUOSIDAD



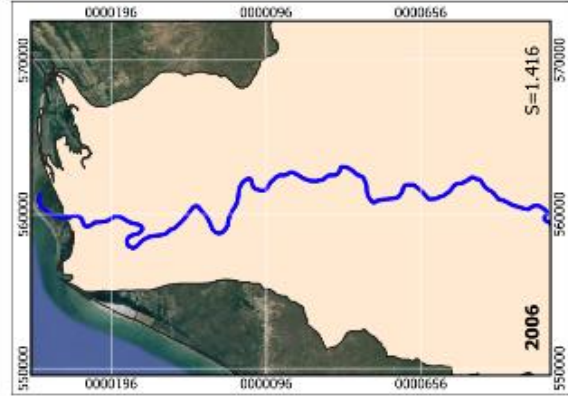
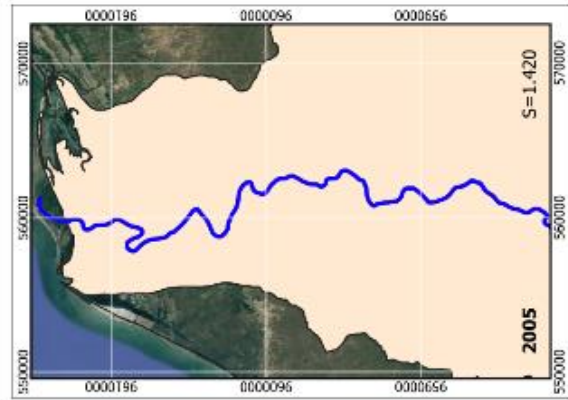
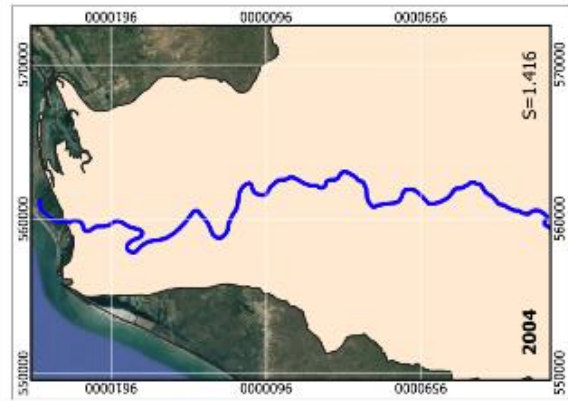
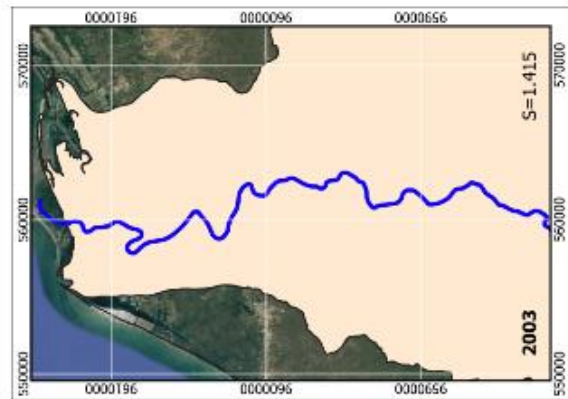
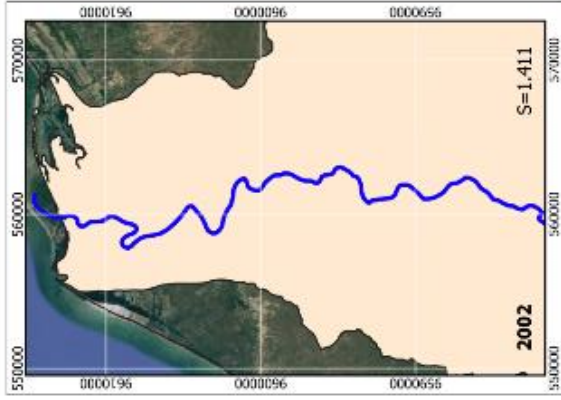
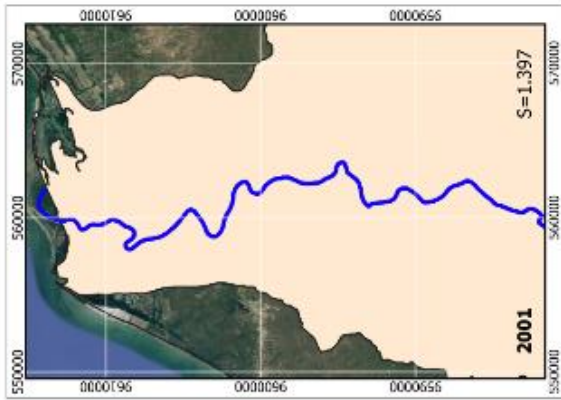
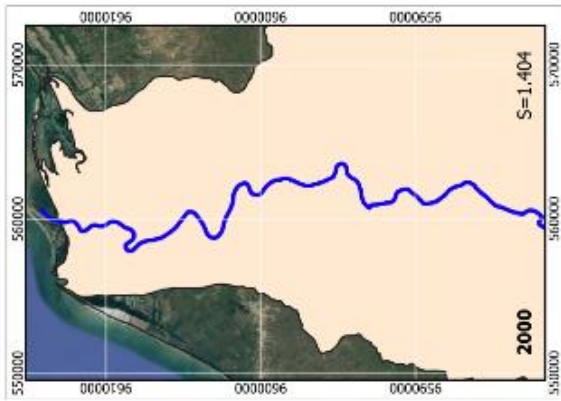
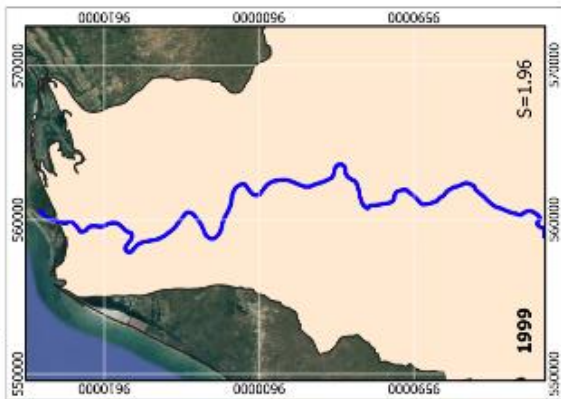


INDICES DE SINUOSIDAD



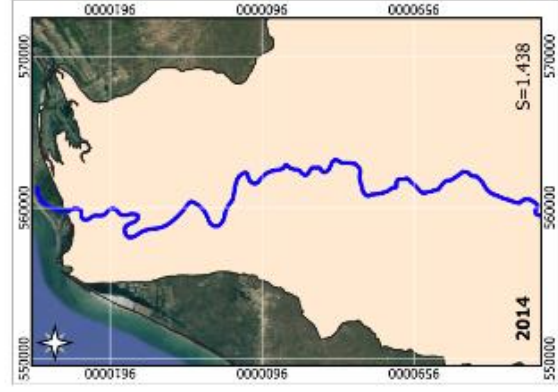
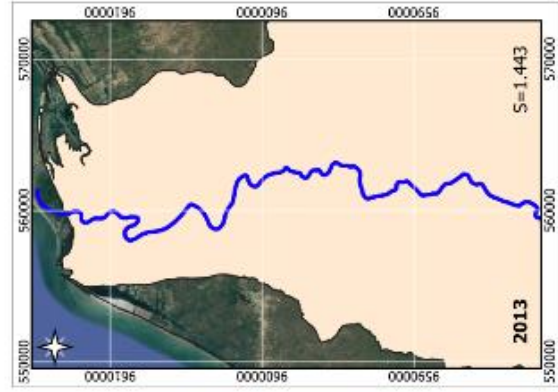
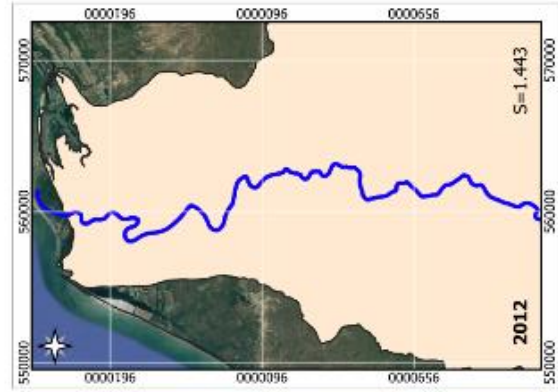
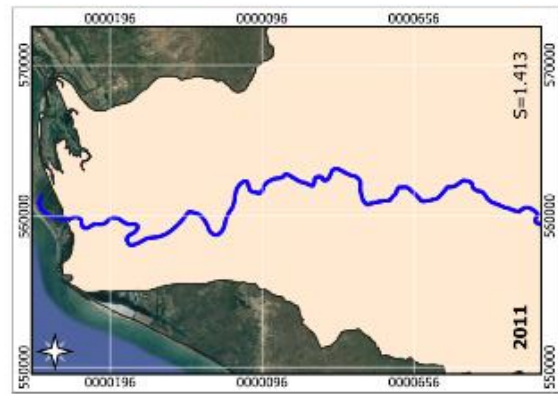
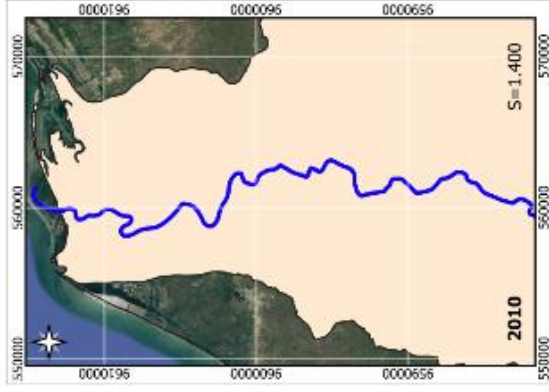
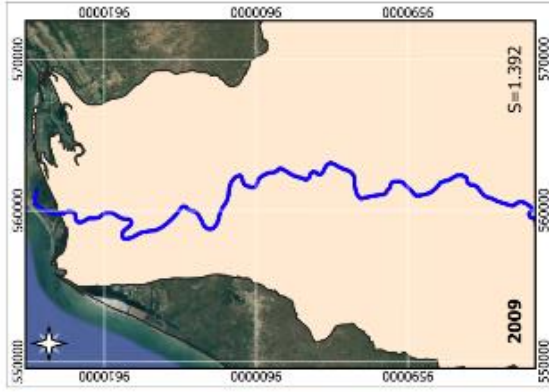
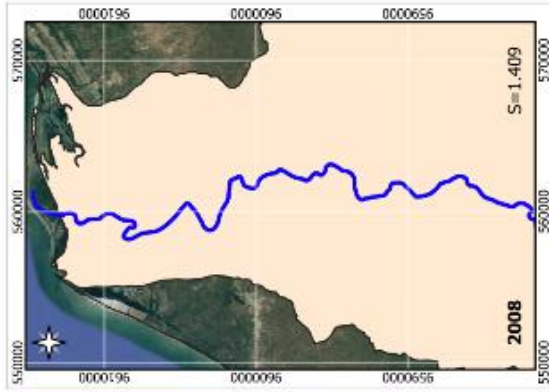
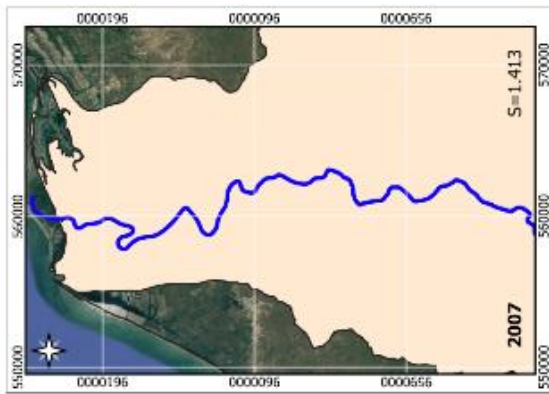


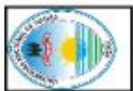
INDICES DE SINUIOSIDAD



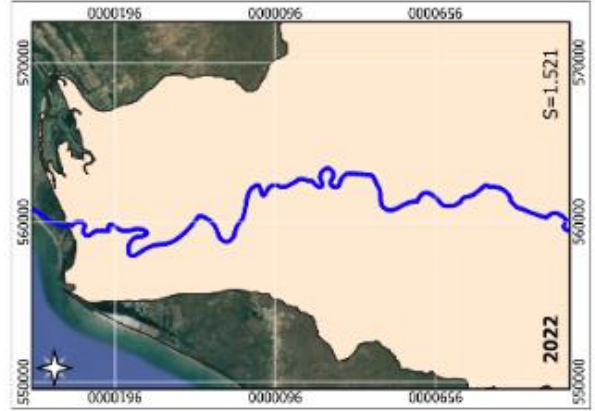
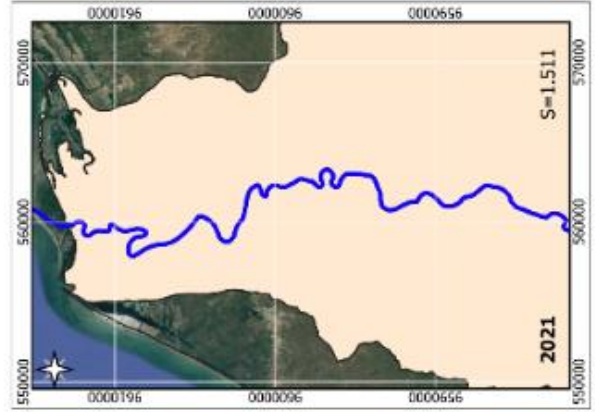
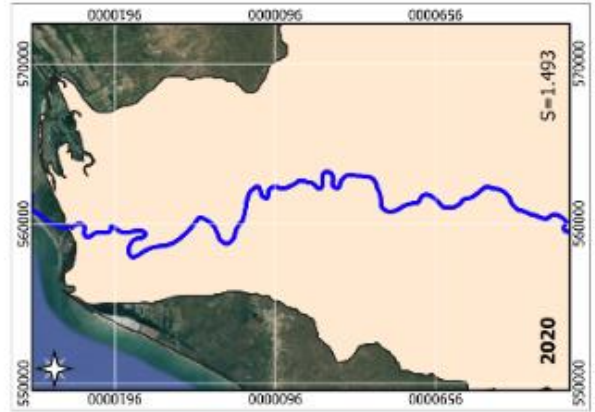
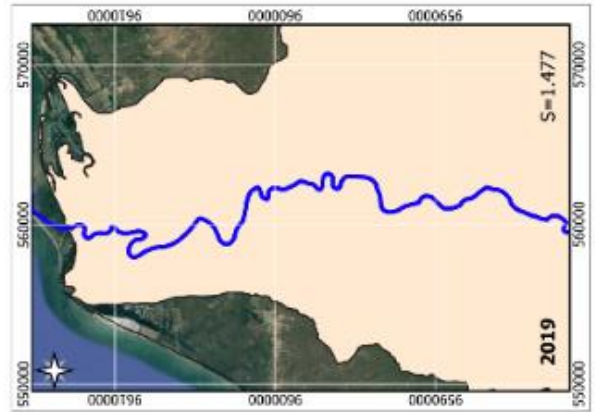
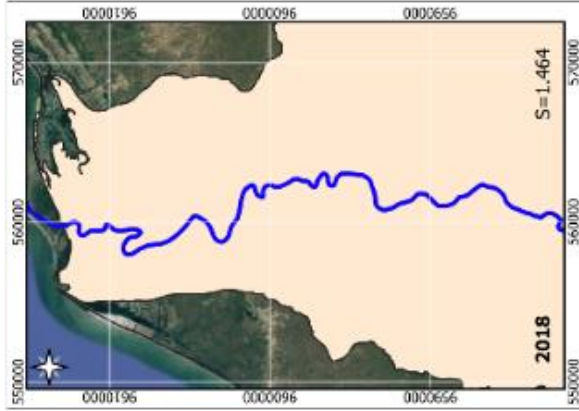
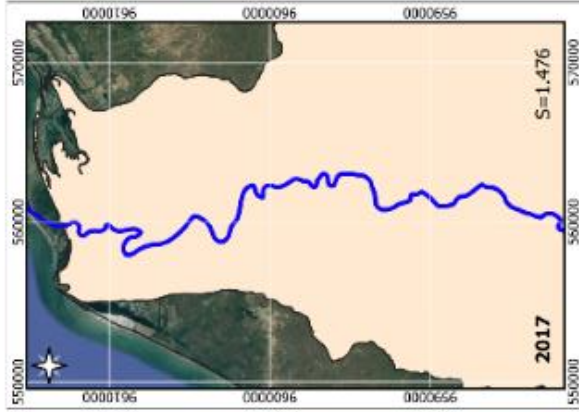
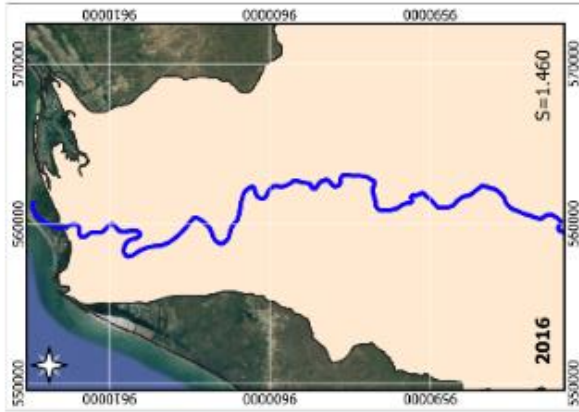


INDICES DE SINUOSIDAD



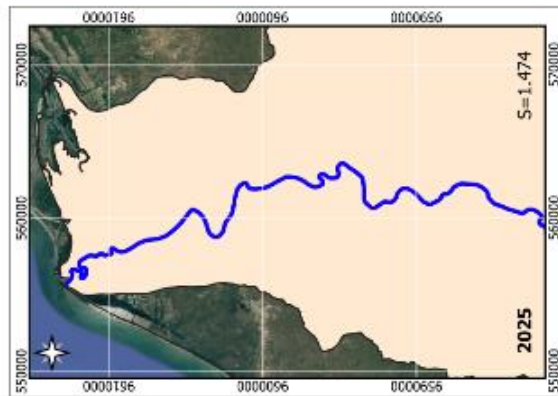


INDICES DE SINUOSIDAD





INDICES DE SINUOSIDAD



CLASIFICACION DEL
INDICE DE SINUOSIDAD

Tipo de sinuosidad	Sinuosidad
Baja	< 1.3
Moderada	1.3 – 2
Alta	> 2

Fuente: (Leopold y Wolman (1957))

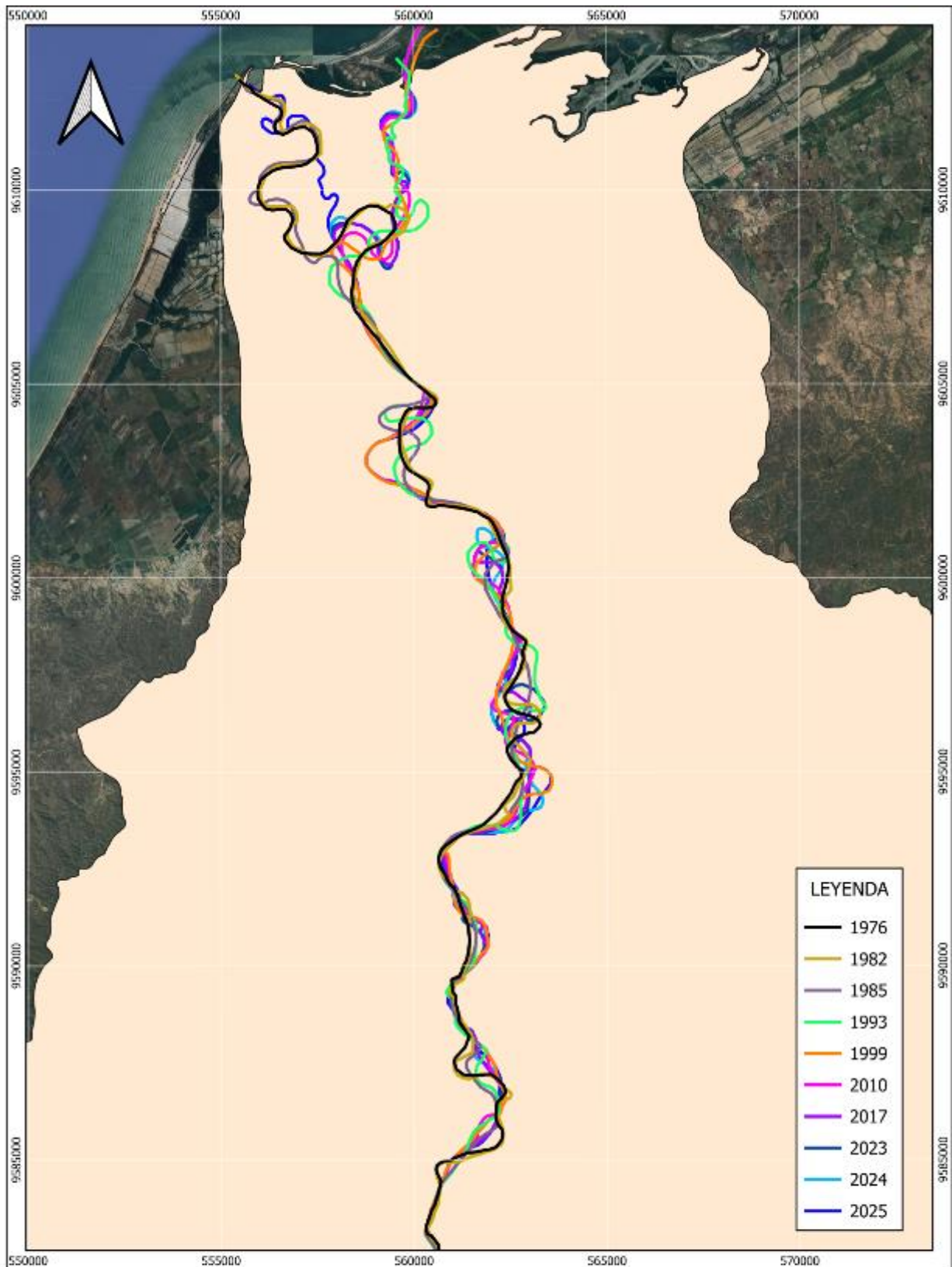
Tipo de Cauce	Sinuosidad
Canal rectilíneo	< 1
Canal transicional	1.2 – 1.5
Canal regular	1.5 – 1.7
Canal irregular	1.7 – 2.1
Canal tortuoso	> 2.1

Fuente: (Schumm, 1963).

AÑO	LONG. DEL CAUCE (m)	LONG. EN LINEA RECTA (m)	S	Leopold y Wolman (1957)	Schumm (1963)
1976	46937.814	30200.314	1.554	Moderada	Regular
1977	48472.103	30200.314	1.605	Moderada	Regular
1979	49409.631	30314.883	1.630	Moderada	Regular
1980	49020.294	30266.465	1.620	Moderada	Regular
1981	48348.896	30260.367	1.598	Moderada	Regular
1982	49254.324	30262.230	1.628	Moderada	Regular
1984	43132.234	30227.388	1.427	Moderada	Transicional
1985	43311.930	30227.429	1.433	Moderada	Transicional
1986	43231.995	30062.199	1.438	Moderada	Transicional
1987	43467.724	30058.998	1.446	Moderada	Transicional
1990	44839.648	30059.001	1.492	Moderada	Transicional
1991	45027.624	29964.969	1.503	Moderada	Regular
1993	47329.401	30351.470	1.559	Moderada	Regular
1994	47408.668	30472.405	1.556	Moderada	Regular
1996	48108.744	30474.958	1.579	Moderada	Regular
1997	48162.524	30571.794	1.575	Moderada	Regular
1999	42670.158	30569.989	1.396	Moderada	Transicional
2000	42913.858	30570.736	1.404	Moderada	Transicional
2001	42718.685	30571.222	1.397	Moderada	Transicional
2002	43133.449	30572.706	1.411	Moderada	Transicional

AÑO	LONGITUD DEL CAUCE (m)	LONGITUD EN LINEA RECTA (m)	S	Leopold y Wolman (1957)	Schumm (1963)
2003	43255.233	30572.241	1.415	Moderada	Transicional
2004	43279.217	30572.137	1.416	Moderada	Transicional
2005	43419.580	30572.368	1.420	Moderada	Transicional
2006	43286.321	30572.360	1.416	Moderada	Transicional
2007	43190.758	30572.374	1.413	Moderada	Transicional
2008	43068.406	30572.009	1.409	Moderada	Transicional
2009	42552.666	30573.472	1.392	Moderada	Transicional
2010	42789.809	30572.394	1.400	Moderada	Transicional
2011	43199.517	30572.242	1.413	Moderada	Transicional
2012	44102.229	30572.636	1.443	Moderada	Transicional
2013	44100.919	30572.094	1.443	Moderada	Transicional
2014	43957.565	30572.337	1.438	Moderada	Transicional
2015	44546.640	30572.366	1.457	Moderada	Transicional
2016	44630.948	30572.411	1.460	Moderada	Transicional
2017	45118.108	30572.756	1.476	Moderada	Transicional
2018	44767.273	30573.386	1.464	Moderada	Transicional
2019	45171.447	30572.900	1.477	Moderada	Transicional
2020	45642.488	30572.524	1.493	Moderada	Transicional
2021	46194.329	30572.466	1.511	Moderada	Regular
2022	46514.654	30572.405	1.521	Moderada	Regular
2023	46730.780	30572.395	1.529	Moderada	Regular
2024	46421.992	30572.201	1.518	Moderada	Regular
2025	46126.523	30010.295	1.474	Moderada	Transicional

FIGURA 96. Mapas de eje del cauce y sinuosidades (1976-2025)



	LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LA DINÁMICA FLUVIAL Y SU INFLUENCIA EN LA GESTION AMBIENTAL: CASO RÍO TUMBES – TUMBES 2025		ESCUELA DE POSGRADO <small>UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES</small>		VARIACIONES DEL EJE DEL CAUCE DEL RIO TUMBES		ELABORADO POR: ING. HENRY MORE MEDRANO	
	DEPARTAMENTO: TUMBES	PROVINCIA: TUMBES	UTM : WGS84 ZONA: 17S	ESCALA : 1/120000	U 03			

FIGURA 97. Variaciones del cauce del rio Tumbes

4.1.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DINAMICA FLUVIAL

La investigación destaca que existen factores que condicionan la forma que toma el cauce en ciertos años, así tenemos:

- **Factor geológico:** constituye la base estructural sobre la cual se desarrolla el sistema fluvial, influyendo directamente en la estabilidad del cauce. A excepción del sector higuero donde se encuentran formaciones de rocas intrusivas que permiten que el valle tenga una forma V, la geología hacia aguas abajo predomina con formaciones de rocas sedimentarias poco consolidadas (areniscas, limolitas, lutitas) y conglomerados que condicionan tener una alta tasa de erosión.

Así mismo con el pasar de los años los depósitos aluviales y coluviales dentro y en los márgenes del cauce brindan una facilidad para ser erosionadas, al no ser un material consolidado. Esto ocurre principalmente en la parte baja de la cuenca donde se recibe y acumula dicho material.

- **Factor geomorfológico:** se refiere a la forma del terreno y está relacionado con el factor antropogénico y la presencia del río Tumbes, pues estos determinan muchas veces la morfología del cauce y adyacentes. Por lo tanto, este factor se analiza previamente a ocurrir un cambio considerable del eje del río.

En el tramo analizado se identifican llanuras aluviales que comprenden amplias zonas de inundación, presencia de geoformas fluviales (barras, islas, paleocauces) y conformación de terrazas de fácil erosión. La baja pendiente y la naturaleza aluvial del terreno en la parte baja de la cuenca favorecen, caracterizado por y por depositar su material principalmente por acción de la acreción lateral de barras en sus curvas interiores, con una cantidad menor de acreción vertical en las llanuras de inundación.

- **Factor hidrológico:** es el desencadenante de eventos de inundación y están asociados al régimen de caudales, siendo determinantes en la dinámica fluvial.

La variación del cauce tiene influencia directa de eventos extremos como el Fenómeno El Niño (1982–1983 y 1997–1998), Fenómeno el Niño Costero (2017), eventos extremos como el Ciclón Yaku (2023) y caudales que

superan los el umbral rojo (1000 m³/s) tal cual ha ocurrido en los últimos años.

Las imágenes analizadas demuestran que las avenidas extraordinarias rompen el equilibrio geomorfológico, forzando al río a ocupar otros espacios de menor resistencia y paleocauces, lo cual confirma que el río tiene "memoria histórica" de sus rutas de inundación.

- **Factor antrópico:** la intervención humana ha alterado el equilibrio natural del sistema fluvial, a partir del desarrollo de la actividad agrícola y acuícola se ha ido "estrangulando" el valle aluvial, lo que incrementa la presión hidráulica sobre las riberas

La construcción de estructuras Hidráulicas que buscan proteger ciertas márgenes traslada el problema de inundación a zonas no protegidas, alterando la sinuosidad natural. Así mismo el crecimiento urbano sobre terrazas fluviales y laderas aumenta la escorrentía superficial y elimina la vegetación raparía que antes estabilizaba las márgenes forma natural.

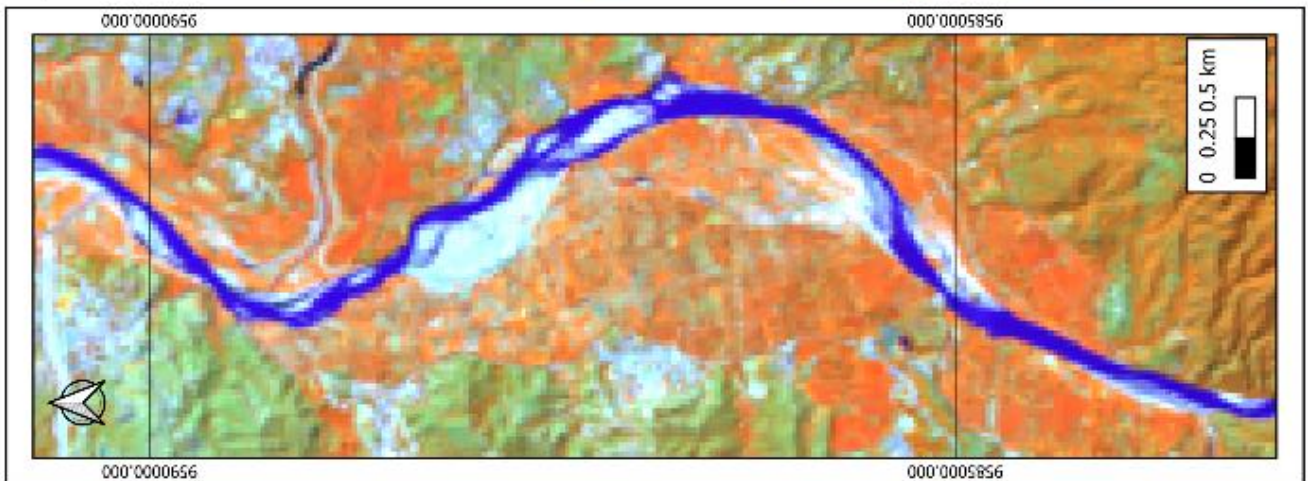
- **Factor marino:** es un factor adicional es el ingreso de agua de mar hacia el cauce fluvial durante condiciones de marea alta, lo que restringe la salida hacia el mar provocando efectos de remanso y aumentos de presión laderas.

A partir de la interpretación de imágenes Landsat, se definieron los siguientes mapas temáticos por cuadrante para una mejor visualización y análisis de la dinámica fluvial.



LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LA DINÁMICA FLUVIAL Y SU INFLUENCIA EN LA GESTIÓN AMBIENTAL
CASO RIO TUMBES – TUMBES – JUNIO 2025
(PRIMER CUADRANTE)

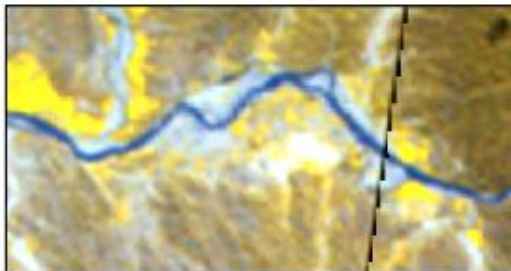
2025



1977



1984



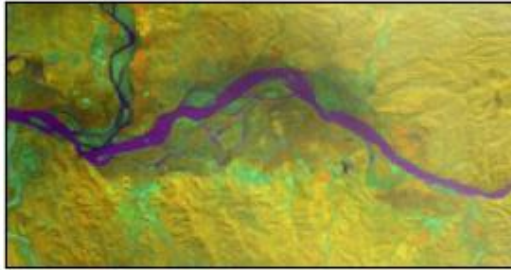
1990



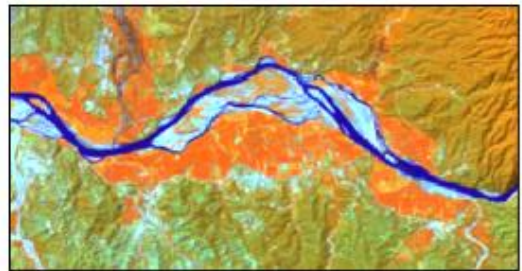
1993



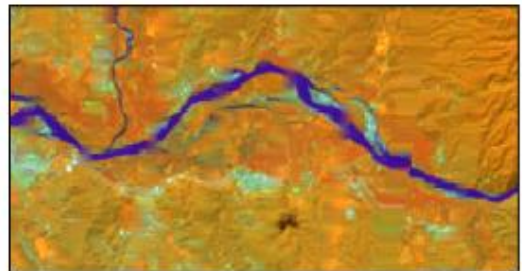
1998



2000



2010



2015

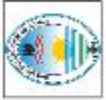


2018



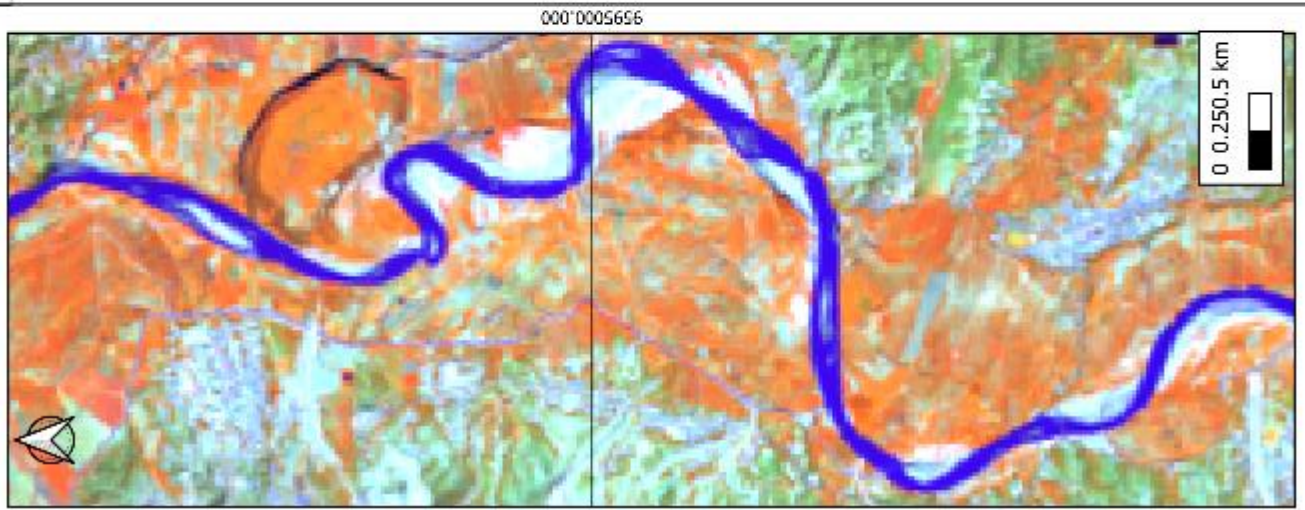
2024



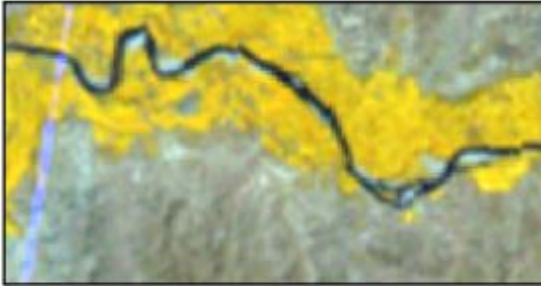


LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA DE ANALISIS EN LA DINAMICA FLUVIAL Y SU INFLUENCIA EN LA GESTION AMBIENTAL:
CASO RIO TUMBES - TUMBES 2025
(SEGUNDO CUADRANTE)

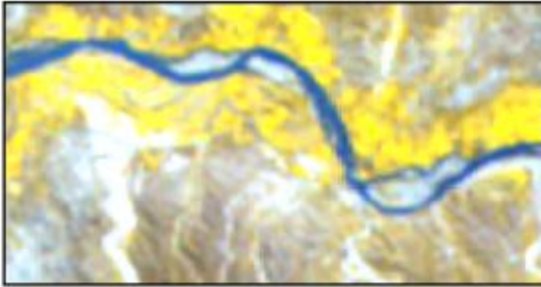
2025



1977



1984



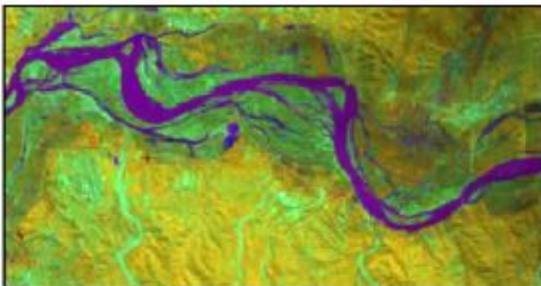
1990



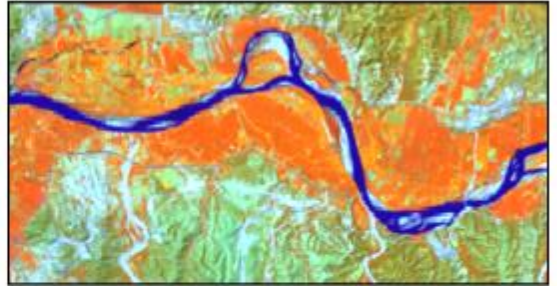
1993



1998



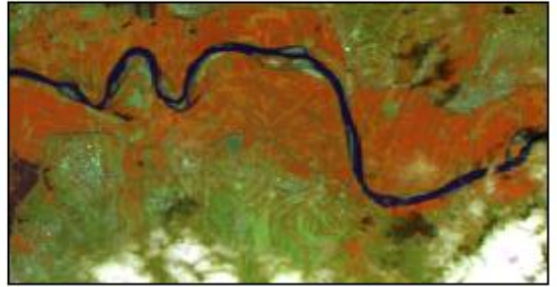
2000



2010



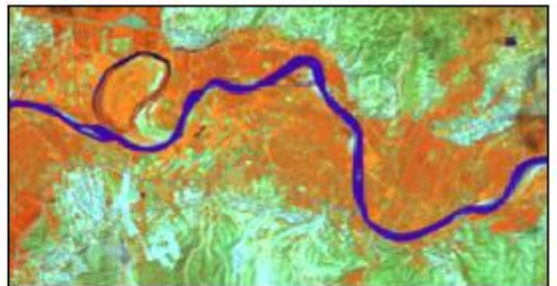
2016



2023

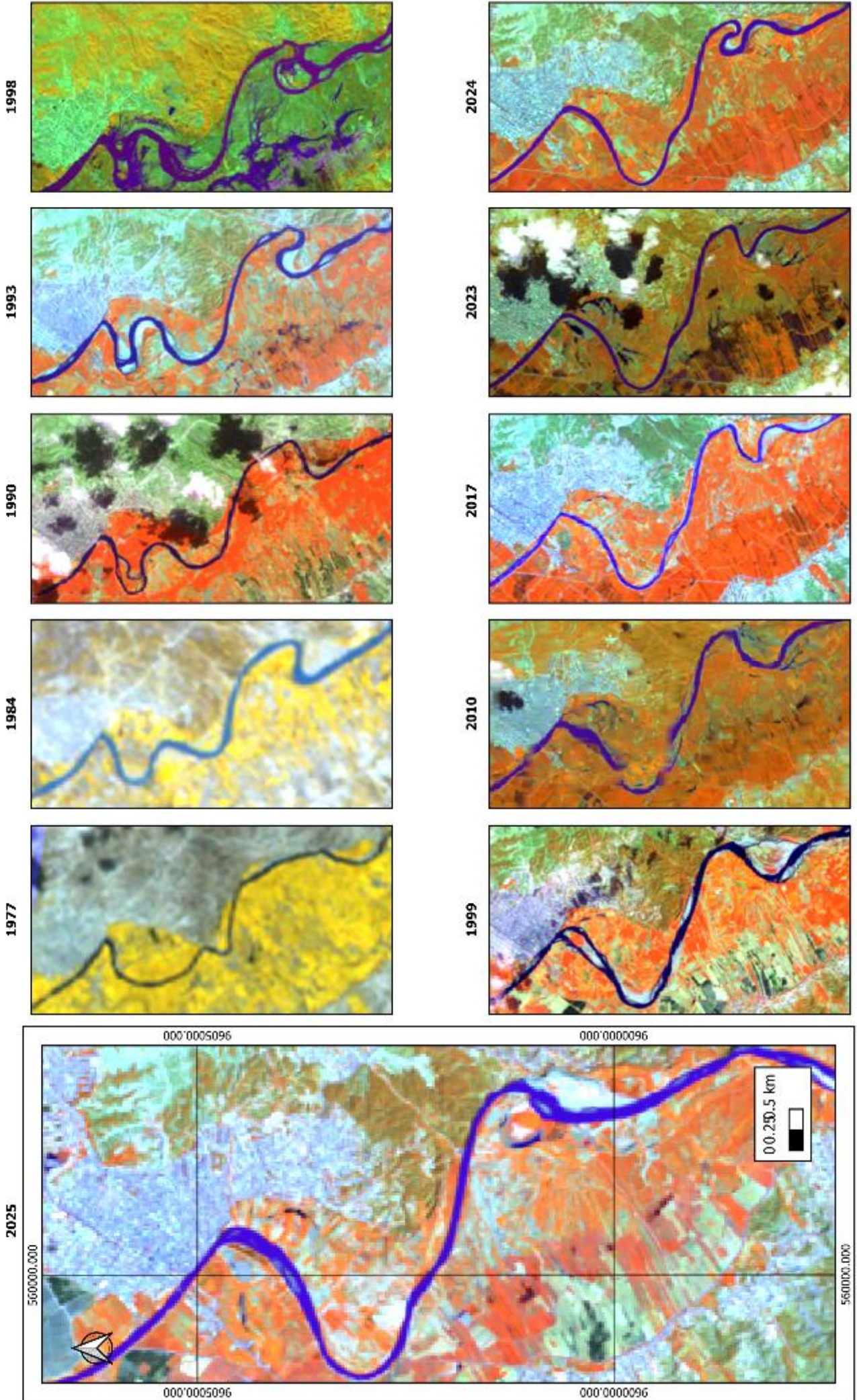


2024





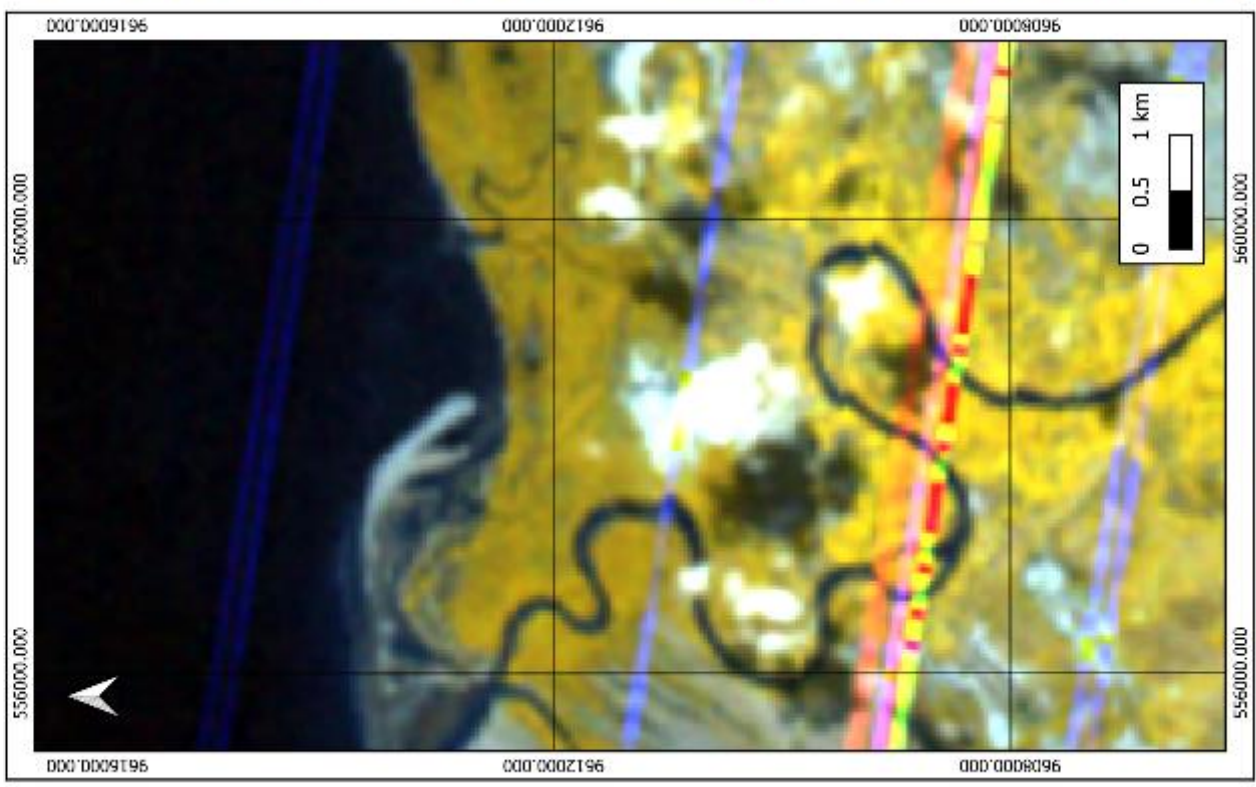
LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LA DINÁMICA FLUVIAL Y SU INFLUENCIA EN LA GESTIÓN AMBIENTAL:
CASO RIO TUMBES – TUMBES 2025
(TERCER CUADRANTE)



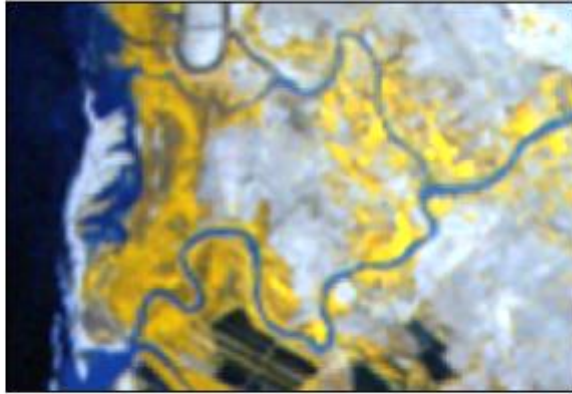


LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA DE ANALISIS EN LA DINAMICA FLUVIAL Y SU INFLUENCIA EN LA GESTION AMBIENTAL:
CASO RIO TUMBES - TUMBES 2025
(CUARTO CUADRANTE)

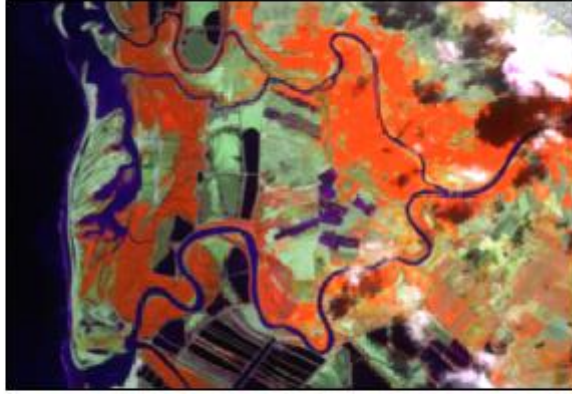
1976



1984



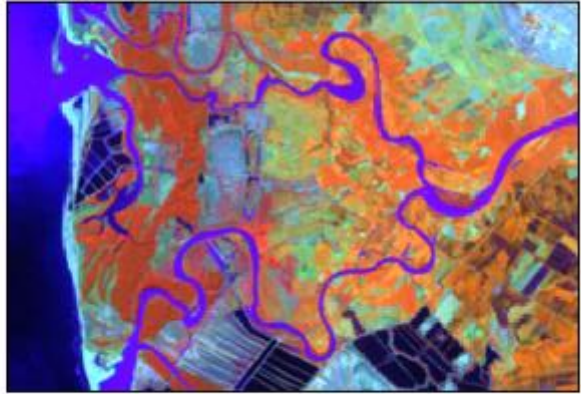
1990



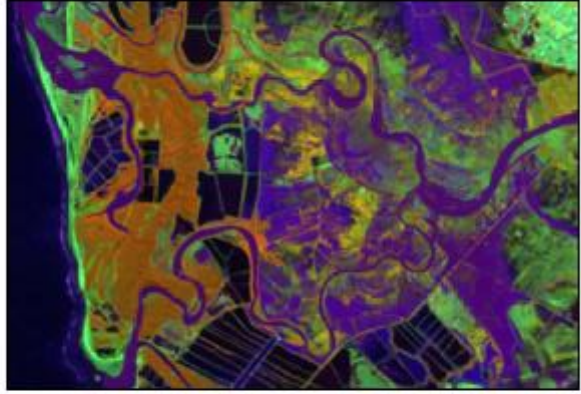
1993



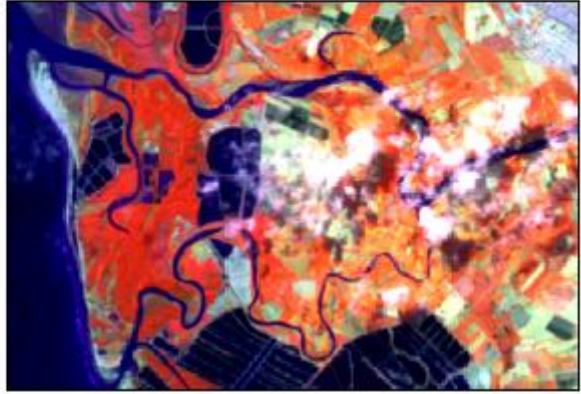
1994



1998



1999



4.1.3. IMPLICANCIA EN LA GESTION AMBIENTAL

El análisis multitemporal de la dinámica fluvial del río Tumbes, realizado mediante técnicas de teledetección, evidencia que el río presenta un comportamiento altamente dinámico, caracterizado por procesos de migración lateral, formación y corte de meandros, activación de brazos secundarios y reconfiguración de su desembocadura. Estas características tienen implicancias directas en la gestión ambiental

El cauce al moverse en un espacio fluvial activo cambiante, afecta a zonas ocupadas indebidamente por actividades agrícolas y langostineras ubicadas en llanuras de inundación o paleocauces, por lo que no ha existido una planificación territorial en las actividades agropecuarias de la cuenca.

Por ello el manejo de recursos de la cuenca debe integrar el monitoreo satelital en tiempo real para detectar invasiones en zonas de riesgo dinámico antes de que se consoliden, así mismo la protección y defensa de las márgenes.

Los resultados confirman que la teledetección permite analizar la dinámica fluvial de manera eficiente, proporcionando información clave para la gestión ambiental, tales como la identificación de zonas críticas, evaluación de cambios históricos, soporte para planificación territorial y un monitoreo continuo del cauce.

4.2. DISCUSIONES

En relación con los objetivos planteados, se plantea las siguientes discusiones con investigaciones previas realizadas en zonas incluidas en la presente investigación.

Socola (2025), en su informe final de tesis, menciona que el tramo bajo del río Tumbes presenta un patrón meándrico inestable debido a la naturaleza aluvial del terreno y a la baja pendiente geomorfológica. Esta afirmación coincide plenamente con lo observado en el presente estudio, donde la migración constante del thalweg confirma dicha inestabilidad.

Nuñez (2006), en el estudio del sector Higuérón – desembocadura, identifica variaciones del cauce asociadas a procesos de erosión lateral y sedimentación. El

presente trabajo confirma estos procesos, permitiendo entender que dichos cambios no son eventos aislados, sino parte de un comportamiento cíclico del sistema fluvial.

Tanto Nuñez (2006) como Socola (2025) dan prevalencia al factor hidrológico respecto a las variaciones del cauce, demostrando que la presencia de eventos extremos deja un impacto permanente en la morfología del cauce, hasta que este mismo se reconfigura o vuelve a cambiar, en caso se presente otro evento.

El presente estudio detalla que la presencia de zonas históricamente utilizadas por el río como espacio fluvial activo, han sido acaparadas para la actividad agrícola y langostinera, a lo que Nuñez (2006) también hace referencia indicando que muchas veces los agricultores aprovechan los terrenos dejados por el río después de una avenida fuerte, donde desarrollan su agricultura, pero no miden las consecuencias que estos terrenos pueden ser retomados por el río años después. Así mismo

Por su parte (Balladares, 2025) afirma que la el Rio tumbes desde el sector Corrales hacia Aguas abajo en los últimos años existe una disminución neta de la intrusión agrícola en la margen izquierda, asociada principalmente a eventos climáticos extremos. En cambio, la margen derecha presenta una tendencia continua de expansión, lo que advierte la necesidad de una intervención urgente para prevenir la pérdida total de la función ecológica de esta franja.

Mamani (2006) indica con respecto al delta que durante los últimos años se ha observado la migración hacia el norte (Punta Melo), lo cual se ha evidenciado en la presente tesis, sin embargo en el último año 2025 el río retoma una trayectoria previa en su desembocadura, haciendo que los sedimentos formen depósitos en dicho sector.

Los estudios previos reconocen la vulnerabilidad del tramo bajo del río Tumbes; sin embargo, el presente trabajo aporta la evidencia cartográfica y temporal que permite sustentar decisiones de gestión ambiental, como la delimitación del espacio fluvial, la identificación de zonas de riesgo y la planificación territorial basada en el comportamiento histórico del río.

Nuñez (2006), Mamani (2006), Socola (2025), (Balladares, 2025) y la presente investigación utilizan técnicas de teledetección basadas en imágenes satelitales proporcionadas por Google Earth y Landsat, lo cual evidencia que la teledetección permite monitorear de forma continua la evolución del cauce, detectar eventos específicos en el tiempo y generar mapas temáticos. Esto representa un aporte metodológico importante para el análisis fluvial y la gestión ambiental.

V. CONCLUSIONES

- ✓ El procesamiento y análisis de imágenes satelitales Landsat mediante la combinación de bandas permite identificar la variación del cauce del río Tumbes en el periodo analizado del 1973 al 2025.
- ✓ Los resultados evidencian que el río presenta una alta movilidad lateral, con evolución de meandros, migraciones continuas del thalweg dentro de la llanura aluvial y la ocupación de paleocauces en eventos extremos.
- ✓ Los factores más influyentes en jerarquía que influyen en la dinámica fluvial del río Tumbes son, el factor hidrológico, geológico, geomorfológico, antrópico y marino
- ✓ Se identifican periodos de mayor cambio asociados a eventos hidrológicos extremos, particularmente después de 1983–1984 y 1997–1998, así como cambios recientes entre 2020–2025.
- ✓ Los mapas generados mediante Sistemas de Información geográfica constituyen una evidencia cartográfica del espacio fluvial histórico del río, útiles para planificación territorial y gestión del riesgo.
- ✓ Existen actividades productivas actuales que se desarrollan dentro del espacio históricamente ocupado por el río, lo que explica la recurrencia de afectaciones en estos sectores, por ello la gestión ambiental no puede basarse en la posición actual del cauce, sino en su comportamiento histórico.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Incorporar el concepto de espacio fluvial dinámico en los instrumentos de planificación territorial y gestión ambiental, con el fin de restringir actividades dentro de las áreas identificadas como zonas de migración lateral y paleocauces activos.
- ✓ Se debe actualizar la delimitación de fajas marginales considerando la evolución histórica del cauce
- ✓ Todo proyecto de defensa ribereña debe adecuarse a las condiciones geodinámicas del río, permitiendo que existan aliviaderos naturales descolmatados y la desembocadura sea libre a fin de que tenga la movilidad fluvial natural que todo río tiene.
- ✓ Se deben realizar el dragado del río Tumbes, ya que en los últimos años con caudales menores a los eventos del FEN 1983-1984 y 1997-1998, se han visto afectadas extensas áreas agrícolas producto de la reducción de la capacidad hidráulica del cauce lo que ocasiona el desborde e inundación
- ✓ Complementar este estudio con modelamiento hidráulico–hidrodinámico que incluya un análisis batimétrico y a la intrusión marina.
- ✓ Replicar la metodología de teledetección aplicada en este trabajo en otros ríos de la costa norte del Perú con comportamiento similar.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balladares, B (2025) *Análisis multitemporal de la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes, distrito de Corrales 1990-2024* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12874/66093>.
- Black, A. R., & Werritty, A. (1997). Seasonality of flooding: a case study of North Britain. *Journal of Hydrology*, 195(1-4), 1-25. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03264-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03264-7).
- C y A Consultores Asesores Asociados y LAGESA (1990). Proyecto Puyango-Tumbes, estudio de factibilidad, componente peruana, informe principal, tomo 5: Defensas ribereñas. Comisión Mixta Peruano Ecuatoriana para el Aprovechamiento de las Cuencas Hidrográficas Binacionales Puyango-Tumbes y Catamayo Chira, Piura.
- Chorley, R. J., y Kennedy, B. A. (1971). Physical geography: a systems approach, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* (98), 867 – 868. <https://doi.org/10.1002/qj.49709841818>.
- Chuvieco, E. (1992). Teledetección, SIG y cambio global. *Geographicalia*, (29), 33-56.
- Gómez González, A. *Análisis de inundación y cambios en la dinámica fluvial del Río Magdalena en la zona urbana del municipio de Puerto Boyacá-Boyacá*. [Tesis de Maestría, Universidad Militar de Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/38979>.
- Gracia, J. y Maza, J. (1997). *Morfología de Ríos. Capítulo 11*. Manual de Ingeniería de Ríos.
- Halifa Marín, A. ; Pérez-Cutillas, P., Almagro, M., y Boix Fayos, C. (2019). Presión antrópica sobre cuencas de drenaje en ecosistemas frágiles: variaciones en las existencias (stock) de carbono orgánico asociadas a cambios morfológicos fluviales. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 45(1), 245. <https://doi.org/10.18172/cig.3690>
- Hernandez, J. (2016). Geomática en el análisis de la dinámica fluvial del río magdalena en el tramo Neiva – Honda entre 1974 y 2011. *Actas científicas CIG* , 87-104. <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1534>.

- JARS. (1993). Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. Available at http://www.jars1974.net/pdf/rsnote_e.html.
- Lewin, J. (1977). "Channel pattern changes". In: River Channel Changes (Ed. by K. J. Gregory), John Wiley. New York, pp. 167-184.
- Mamani Pachari, Y. (2016). Geomorfología y evolución del delta del río Tumbes.
- Martínez, F., & Madrid, H. (2022). Sinuosidad y dimensión fractal de cauces chilenos. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 13(4), 172-224. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2022-04-04>.
- Moral, R. y Gimeno M. (2022). *Seguimiento y diagnóstico de la rambla de Cariñena: dinámica fluvial, riesgos e impactos* [Tesis de Maestría, Universidad de Zaragoza] <https://zaguan.unizar.es/record/124622>.
- Núñez, S. (2006). Variación del cauce del río Tumbes en el sector Higuierón desembocadura: relación con los peligros hidrometeorológicos. In *Resúmenes extendidos XIII Congreso Peruano de Geología* (pp. 147-150).
- Ollero, A. (2007). *Territorio fluvial: diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes* (Vol. 17). Fundación Nueva Cultura del Agua.
- Pantevis, M., & Torres, V. (2020). *Geomorfología y dinámica fluvial del río Amazonas a la altura de Leticia, aplicado a zonas de inundación* (Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás).
- Quincho Olazábal, J. (2015). Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión y fondo y comparación con fórmulas empíricas en los ríos Puyango-Tumbes y Zarumilla [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12816/921>
- Quincho, J. (2015). *Estudio experimental del transporte de sedimentos en suspensión y fondo y comparación con fórmulas empíricas en los ríos Puyango-Tumbes y Zarumilla* (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina) <https://hdl.handle.net/20.500.12996/918>
- Quintana Cobo, I. (2015). *Dinámica de meandros del alto Amazonas (Ucayali Basin)*. [Tesis doctoral, Universidad de Cantabria]. <http://hdl.handle.net/10902/8110>.

- Ramos Alonzo, R y Alva Huayaney, M. (2020). Análisis geomorfológico y dinámica fluvial del río Huallaga en la localidad de Yurimaguas. *Investigaciones sociales*, 23(43), 71-85. <https://doi.org/10.15381/is.v23i43.18487>.
- Reyes, J. 2003. Inundaciones y Drenaje Urbano - Perú. En O. Campos, C. André, W. Ferreira, & M. Fernanda (Eds.), *Inundações urbanas na América do Sul* (Primera, pp. 379-428). Porto Alegre. Disponible en: http://www.agua.org.py/images/stories/biblioteca/humedales/jorge-reyes_peru.pdf
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la hidráulica fluvial*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil.
- Rocha, A. (2007). *El Meganiño 1982-83, "La Madre de todos los Niños"*. Conferencia dictada en el II Congreso Internacional "Obras de Saneamiento, Hidráulica, Hidrología y Medio Ambiente". 41p. Extraído de: https://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/ROCHA/FEN_1982-1983.pdf
- Sánchez Barrios, S. F. 1995. Una aproximación al proceso de planificación de cuencas hidrográficas
- Sánchez, Á. L. (2020). *Dinámica hidrogeomorfológica y evolución reciente (1956-2016) en la cuenca del arroyo de El Partido, Huelva, SW de España* (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla). <https://idus.us.es/handle/11441/103727>
- Socola, P (2025). *Análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la afección de áreas agrícolas, tramo Higuierón-Puente Tumbes 2000-2023*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Tumbes]. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/UNTUMBES/65763>
- U.S. Geological Survey. (2023). *Landsat Collection 2 Level-2 science products*. U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products>
- U.S. Geological Survey. (2024). *Landsat Collection 2 Surface Reflectance*. U.S. Department of the Interior. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-reflectance>
- Vargas Pérez, J. A., & Suarez Casas, J. D. *Análisis multitemporal en el cambio de la dinámica fluvial en relación con el cambio de coberturas de la tierra en el afluente principal de la subcuenca del Río San Juan Cundinamarca* (Doctoral dissertation, Universidad Santo Tomás).

Vega Quintero, M. J. (2020). *Dinámica fluvial del río Chiriquí Viejo y su incidencia en la población y producción agrícola de la cuenca hidrográfica 1960-2015, Provincia de Chiriquí* (Doctoral dissertation, Universidad de Panamá) <http://up-rid.up.ac.pa/3156/>

Vide, J. P. M. (2009). *Ingeniería de ríos* (Vol. 9). Univ. Politèc. de Catalunya.

ANEXOS



Sector Pampa Grande en la Margen Derecha (2020)



Curvatura y presencia de islas en el cauce en Sector la Noria (2020)



Depositos Aluviales en las márgenes (2020)



Espigones y playa de sedimentos en el cauce (2020)



Parte baja (Cuartel Fontonero) – Sector Arena La Palma (2020)



Curva pronunciada en el Sector Malval (2021)



Valle en forma de V, en el Sector Higueron (2021)



Infraestructura hidraulica de Captacion y Proteccion en ribera del río (2021)



Erosion de margenes en el Sector Bellavista (2021)



Captacion Puerto el Cura (2022)



Bocatoma la Peña (2022)



Captacion en PTAP (2023)



Sector Venadito – Dren el Piojo (2024)



Desborde del Rio Tumbes en marzo (2025)



Sector Chivato – Sector Palmar (2025)